

DOI: 10.5846/stxb201811092434

李永飞, 夏中林, 沈华东, 许斌, 陈发军, 凌超豪. 峨眉山世界遗产地表土孢粉组合及其生态和古环境启示. 生态学报, 2020, 40(1): 181-201.

Li Y F, Xia Z L, Shen H D, Xu B, Chen F J, Ling C H. Surface pollen assemblages, and their palaeo environmental and ecological significance in the Emei Mountains, Sichuan Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(1): 181-201.

峨眉山世界遗产地表土孢粉组合及其生态和古环境启示

李永飞^{1,2}, 夏中林³, 沈华东^{4,*}, 许斌², 陈发军⁵, 凌超豪⁶

1 吉首大学旅游与管理工程学院 生态旅游湖南省重点实验室, 张家界 427000

2 内江师范学院 地理与资源科学学院, 内江 641112

3 峨眉山林业管理所, 峨眉山 614201

4 河海大学地球与工程学院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098

5 内江师范学院 生命科学学院, 内江 641112

6 中国科学院南京地理与湖泊研究所 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008

摘要:通过峨眉山 40 个样点表土孢粉组合及其与植物群落之间关系的分析,结果表明:(1) 花粉组合中木本植物含量(83.3%)占绝对优势,松属、杉科、桉木属、蔷薇科、桦属、枫杨属、蒿属、毛茛科和水龙骨科为主要孢粉类型;(2) 中山常绿阔叶林花粉组合未能反映植被的群落特征;低山常绿阔叶林间人工次生林和常绿落叶阔叶混交林花粉组合只能反映母体植被的部分组成;针叶林花粉组合基本可以指示母体植被的群落特征;灌丛草甸花粉组合能够较好地反映母体植被的群落组成;针阔混交林花粉组合不仅可以很好地指示群落特征,花粉高含量类型还可以与植物群落优势种很好地对应;(3) 主要花粉类型冷杉属、杜鹃花科、蔷薇科、珙桐属、槭属和盐肤木属具低代表性;枫杨属、栲属/柯属、桉木属和杉科花粉具超代表性;(4) DCA 表明,通过花粉百分含量,能较好地地区分人类扰动植被、阔叶林和针叶林,但常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林和针阔混交林之间,针叶林和灌丛草甸之间难以区分;(5) 利用孢粉学恢复热带亚热带常绿阔叶代表类群樟科群落和第三纪孑遗落叶阔叶属种珙桐群落时,受其主体植物花粉外壁薄,易破碎影响,原生植被优势种缺失;因此,孢粉实验改良和保存环境研究,与其他生物学指标(植物大化石和气孔器)综合分析在重建古植物群落中具有重要意义;(6) 植物(如冷杉)花粉含量一定程度上能够指示其林分结构。本研究可为热带亚热带山地及相似地区利用孢粉学进行地质时期气候与环境重建提供理论支持和基础资料,并对植被生态恢复提供实践和参考。

关键词:峨眉山;表土孢粉组合;DCA;樟科和珙桐群落;林分结构

Surface pollen assemblages, and their palaeo environmental and ecological significance in the Emei Mountains, Sichuan Province, China

LI Yongfei^{1, 2}, XIA Zhonglin³, SHEN Huadong^{4,*}, XU Bin², CHEN Fajun⁵, LING Chaohao⁶

1 Hunan Provincial Key Laboratory of Ecological Tourism, College of Tourism & Management Project, Jishou University, Zhangjiajie 427000, China

2 School of Geography & Resource Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, China

3 Forestry Management Agency of Mount Emei, Mount Emei 614201, China

4 Key Laboratory of Hydrology and Water Resources and Hydraulic Engineering, College of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China

5 School of Life Science, Neijiang Normal University, Neijiang 641112, China

6 State Key Laboratory of Lake and Environment, Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

基金项目:国家自然科学基金(41401092, 41401217, 41172151);四川省教育厅科研项目(17ZB0221)

收稿日期:2018-11-09; **网络出版日期:**2019-10-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jackshen016@hhu.edu.cn

Abstract: Surface pollen of 40 samples collected in the Emei Mountains in Sichuan Province, southwest China, are used to analyse the relationship between pollen assemblages and their vegetation. The results show that the arboreal pollen is 83.3%, and the main pollen taxa are *Pinus*, Taxodiaceae, *Alnus*, Rosaceae, *Betula*, *Pterocarya*, *Artemisia*, Ranunculaceae, and Polypodiaceae. Evergreen broadleaved pollen assemblages are not well associated with the numerical characteristics of vegetation community in the mid-mountain area. However, pollen assemblages of the evergreen broadleaf plants in the artificial and secondary forest across the low-mountain area and the deciduous-evergreen broadleaf mixed forest represent moderately their community compositions respectively. The coniferous pollen assemblages reflect strongly their community on the whole. Shrub-meadow pollen assemblages correspond well with their community, and pollen assemblages from coniferous-deciduous broadleaf mixed forest represent accurately their communities. *Abies*, Ericaceae, Rosaceae, *Davidia*, *Acer*, and *Rhus* are under-represented, whereas *Pterocarya*, *Castanopsis/Lithocarpus*, *Alnus*, and Taxodiaceae are over-represented pollen taxa. In addition, a Detrended Correspondence Analysis (DCA) show that disturbed vegetation and broadleaved and coniferous forests can be effectively distinguished by pollen spectra. However, the evergreen broadleaved forest, deciduous-evergreen broadleaf mixed forest and the coniferous-deciduous broadleaf mixed forest, and the conifer and shrub-meadow are not accurately examined by the pollen spectra. The thin and broken outer walls of Lauraceae and *Davidia* pollen mean that these dominant species are missing when the pollen analysis results are used to reconstruct the tropical and subtropical evergreen broad-leaved forest (Lauraceae community) and the deciduous-evergreen broad-leaved forest (*Davidia* community). Furthermore, it is important to study experimental improvements and the preserved environment using other biological indicators (plant fossils and stomata) for attempting to reconstruct the palaeovegetation. The pollen content of some plants (such as *Abies*) can indicate its stand structure to a certain extent. This study provides theoretical support and basic data that can be used to reconstruct the palaeovegetation and palaeoenvironment. Pollen analysis can also be used to help restore other ecological systems in tropical and subtropical mountains and similar regions.

Key Words: Emei Mountains; surface pollen assemblages; detrended correspondence analysis; Lauraceae and *Davidia* communities; stand structure

地层中化石孢粉的分析是探讨第四纪古植被,重建古气候和古地理的重要方法之一,受到古生态学家和古环境学家广泛关注^[1-4]。现代花粉与植被之间关系的正确解译是探讨地层花粉组合和重建地质时期植被的依据,但因受孢粉产量、传播、来源范围、沉积、保存以及自然地理环境等因素影响,致使其与植被的关系变得十分复杂^[5-8]。表土花粉组合与母体植被关系的研究长期以来是第四纪孢粉学中的重要内容,迄今为止仍然受到学者关注^[9-12]。近年以来我国孢粉学者对东北^[13-16]、华北^[17-19]、西北^[20-24]、青藏高原^[25-29]及华东^[30]、华中^[31-32]和华南^[33-35]等地区表土花粉研究仍方兴未艾,成果卓著,西南地区现代花粉分析^[36-38]也为该区古植被和古生态恢复提供了重要依据^[39-41]。

始新世末至新近纪伴随着青藏高原及喜马拉雅山-横断山的阶段隆升和古地中海的退却^[42-43],包括峨眉山在内的康滇古陆植物区系与东部扬子古陆和南部的冈瓦纳古陆植物区系产生交流,峨眉山以其独特的地理、地貌和小气候等因素成为许多北方古近纪植物避难所和新植物类群演化摇篮,致使热带、亚热带和温带植物成分在此交汇、融合^[44-46]。现代峨眉山植物区系成分更加复杂和多样化,有高等植物 280 科 1271 属 3703 多种^[47],既包含中国-日本植物区系成分,又有中国-喜马拉雅植物区系成分^[46,48-49],特有植物种类约 106 种^[47],全山森林覆盖率约 98.8%^[50]。在如此狭窄的地理区域范围内既广泛分布热带亚热带常绿阔叶代表类群樟科群落,也大量生长第三纪孑遗落叶阔叶珙桐群落,还有四川特有种峨眉冷杉群落,孕育着这样丰富的植物种质资源、完整的植被类型和森林垂直带谱,是全球亚热带山地保存最完好的原始植被景观之一,这在中国乃至世界都是罕见的,具有十分重要的科研价值、观赏价值和经济价值^[48,51]。本研究可以为植物种类丰富的热带亚热带山地和相似地区古植被和古气候重建,环境变迁和植被生态恢复提供基础资料和参考依据。

1 研究区概况

峨眉山位于四川省乐山市峨眉山市,介于 $29^{\circ}16'30''$ — $29^{\circ}43'42''$ N, $103^{\circ}10'30''$ — $103^{\circ}37'10''$ E 之间,地处四川盆地西南邛崃山南段余脉向青藏高原过渡地带,系第三纪中新世喜马拉雅造山运动形成剥蚀背斜褶皱断块山,最高峰万佛顶 3099 m,与山麓 500 m 相对高差近 2600 m;属中亚热带季风气候,山麓年均气温 17.2°C ,1 月平均气温 6.9°C ,7 月平均气温 26.1°C ,年降水量 1555.3 mm,年日照时数 948.5 h;山顶年平均气温 3.0°C ,1 月平均气温 -6.0°C ,7 月平均气温 11.8°C ,年降水量 1922.8 mm,年日照时数 1398.1 h;全山相对湿度 80% 以上;由山麓至山顶主要有紫色土、黄壤、山地黄壤、山地黄棕壤、山地暗棕壤、山地灰化土和山地草甸土等;受地质、地貌、气候、土壤和人类活动等影响,植被垂直地带性分异显著,从山麓至山顶依次分布低山常绿阔叶林-人工次生林-中山常绿阔叶林-常绿落叶阔叶混交林-针阔混交林-针叶林-灌丛草甸^[45,47,52],如图 1。

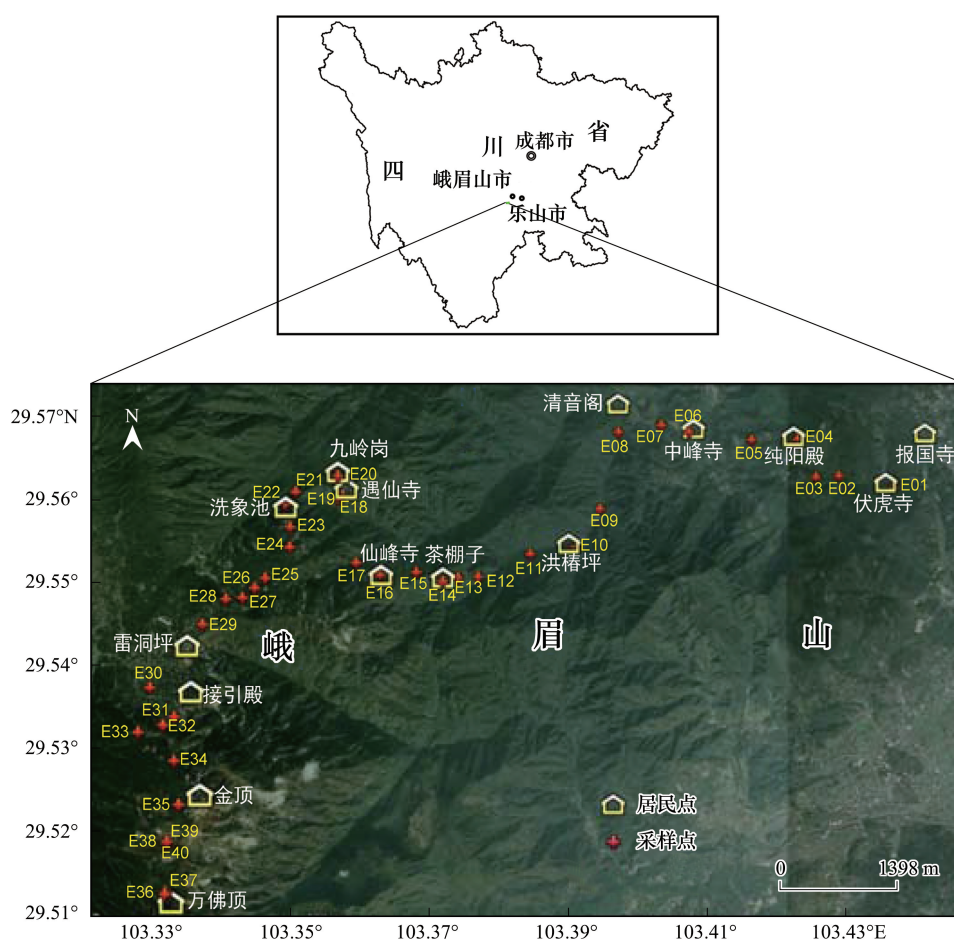


图 1 研究区和采样点示意图

Fig.1 Schematic diagram of study area and sampling sites

图中采样点 E 指峨眉山

(1) 低山常绿阔叶林间人工次生林

本区地带性植被类型分布于海拔 500—1000 m,为亚热带低山常绿阔叶林,乔木层有细叶楠(*Phoebe hui*)、润楠(*Machilus longipedicellata*)、枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、柏木(*Cupressus funebris* Endl.)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、头状四照花(*Cornus capitata*)、木姜子(*Litsea pungens*)、灯台树(*Bothrocaryum controversum*)等。林下灌木盖度 0.3—0.6,有姜花(*Hedychium coronarium*)、水麻(*Boehmeria penduliflora*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、女贞(*Ligustrum lucidum*)、竹(*Bambusoideae*)、桉木(*Eurya japonica*)、铁线莲(*Clematis*

florida)、崖爬藤(*Tetrastigma formosanum*)和棕(*Trachycarpus fortunei*)等。地被植物覆盖度0.8,有冷水花(*Pilea notata*)、扁竹兰(*Iris confusa*)、报春花(*Primula malacoides*)和蕨类等。地带性植被遭人工砍伐破坏后,少数地区零星分布,次生植被主要为黄葛树(*Ficus virens* var. *sublanceolata* (Miq.) Corner)、板栗(*Castanea mollissima*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)和水冬瓜(*Alnus cremastogyne*)等。

(2) 中山常绿阔叶林

本带植被类型为亚热带中山常绿阔叶林,分布于海拔1000—1500 m,乔木层主要以壳斗科石栎属(*Lithocarpus*)、青冈属(*Fagus*)、栲属(*Castanopsis*),樟科桢楠属(*Phoebe*)、润楠属(*Machilus*)、黄肉楠属

(*Actinolaphne*)、樟属(*Cinnamomum*)、山胡椒属(*Lindera*)和木姜子属(*Litsea*),山茶科木荷属(*Schima*)等为优势种,主要树种有罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)、黄心夜合(*Michelia martinii*)、楠木(*Phoebe zhennan*)、柏木、领春木(*Euptelea pleiosperma*)、红茴香(*Illicium henryi*)、峨眉含笑(*Michelia wilsonii*)、杉木、曼青冈(*Cyclobalanopsis oxyodon*)、桃叶珊瑚(*Aucuba chinensis*)、交让木(*Daphniphyllum macropodum*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)、香樟等。林下灌木丛生,附生植物、藤本植物在林中交织,森林里郁闭度较大,灌木层以山茶科(Theaceae)、五加科(Araliaceae)、杜鹃花科(Ericaceae)、箭竹(*Fargesia spathacea* Franch)、方竹(*Chimonobambusa quadrangularis*)为主;草本植物近50种,盖度20%—50%。

(3) 常绿落叶阔叶混交林

本带分布于1500—2200 m,乔木层种类比较丰富,常绿阔叶林以润楠、峨眉栲(*Castanopsis platyacantha*)、包石栎(*Lithocarpus cleistocarpua*)、交让木等为优势种,并生长着硬壳柯(*Lithocarpus hancei*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、丝栎(*Lithocarpus* sp.)、黑壳楠(*Lindera megaphylla*)、桫欏(*Eurya nitida*)、西南山茶(*Camellia pitardii*)、四川山矾(*Symplocos setchuensis*)、杨叶木姜子(*Litsea populifolia*)、西南木荷(*Schima wallichii*)、刺榛(*Corylus ferox*)等;落叶树种以白辛树(*Pterostyrax psilophylla*)、木瓜红(*Rehderodendron macrocarpum*)、鸡爪槭(*Acer palmatum*)、稠李(*Padus obtusata*)、珙桐(*Davidia involucrata*)和华西枫杨(*Pterocarya insignis*)占优势,其他可见灯台树(*Corns controversa*)、黄杞(*Engelhardtia spicata*)、泡花树(*Meliosma cuneifolia*)、四照花(*Dendrobenthamia capitata*)、水青树(*Tetracentron sinense*)、领春木(*Euptelea pleiosperma*)、扇叶槭(*A. flabellatum*)、糙皮桦(*Betula utilis*)、野漆(*Toxicodendron succedaneum*)、角翅卫矛(*Euonymus cornutus*)、山茱萸(*Macrocarpium chinense*)、猫儿屎(*Decaisnea fargesii*)、五尖槭(*A. maximowiczii*)、西南野樱(*Prunus pilosiuscula*)、四川蜡瓣花(*Corylopsis willmottiae*)、安息香(*Styrax* sp.)等组成,郁闭度约为0.7。灌木层主要有冷箭竹(*Bashania fangiana*)、溲疏(*Deutzia pilosa*)、芒刺杜鹃(*Rhododendron strigillosum*)、红豆杉(*Taxus chinensis*)、灯笼花(*Fuchsia hybrid*)等,覆盖度为0.2—0.4。草本层常见冷水花(*Pilea notate*)、管花鹿药(*Smilacina henryi*)、五匹青(*Pternopetalum vulgare*)、锈毛金腰(*Chrysosplenium davidianum*)、齿裂千里光(*Senecio winklerianus*)、红花山酢浆(*Oxalis corymbosa*)、吉祥草(*Reineckia carnea*)、菝葜(*Smilax china*)等,覆盖度0.1—0.3。层间藤本常见美味猕猴桃(*Actinidia chinensis* var. *deliciosa*)、金刚藤(*Smilax scobinicaulis*)、常春藤(*Hedera napalensis* var. *sinensis*)等。

(4) 针阔混交林

本带分布于2200—2600 m,乔木层针叶树以冷杉(*Abies fabri*)为主,阔叶树主要有扇叶槭(*Acer flabellatum* Rehd.)、五尖槭(*A. maximowiczii*)、细齿稠李(*Padus obtusata*)和糙皮桦(*Betula utilis*)等,并可见铁杉(*Tsuga*

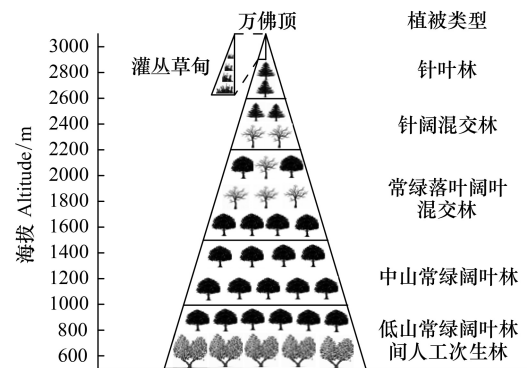


图2 峨眉山植被垂直带谱(修改自[51])

Fig.2 Vertical vegetation zones in the Emei Mountains (modified from references [51])

chinensis)、华西枫杨(*Pterocarya insignis*)、金顶柳(*Salix hsinhuaniana*)、全苞石栎(*Lithocarpus cleistocarpus*)、海绵杜鹃(*Rhododendron pingianum*)等。灌木层以峨眉蔷薇(*R. omeiensis* Rolfe)、美丽杜鹃(*R. calophytum*)、方竹(*Chimonobambusa quadrangularis*)为主,覆盖度 0.3—0.4。草本层以山酢浆草(*Oxalis griffithii*)、蟹甲草(*Sacalia* sp.)、虎耳草(*Saxifraga* sp.)为主。



图3 峨眉山各植被类型景观

Fig.3 Landscape of various plant communities in the Emei Mountains

(5) 针叶林

本带分布于 2600—3099 m, 乔木层分布冷杉和铁杉, 郁闭度 0.6—0.9。灌木层以冷箭竹(*Bashania fangiana*)和大箭竹(*Sinarundinaria chungii*)为主, 还包括高山绣线菊(*Spiraea alpina*)、美容杜鹃(*Rhododendron calophytum*)、大白杜鹃(*Rh. decorum*)、高山柳(*Salix cupularis*)、冰川茶藨子(*Ribes glaciale*)、长串茶藨(*R. longiracemosum*)和峨眉蔷薇(*Rosa omeiensis*), 覆盖度 0.6—0.8; 草本层主要有山酢浆草(*Oxalis acetosella*)、石生楼梯草(*Elatostema rupestre*)、双舌蟹甲草(*Cacalia davidii*)、条叶囊瓣芹(*Pternopetalum tanakae*)、疏穗苔草(*Carex remotiuscula*)、松下蓼(*Polygonum pinetorum*)和早熟禾(*Poa annua*)等, 覆盖度 0.2 左右。

(6) 灌丛草甸

本带分布于海拔 2900 m 以上的亚高山地带, 应为冷杉林遭受破坏后发育起来的, 主要有箭竹、杜鹃(*Rh. simsii* Planch.)、高山柏(*Sabina squamata*)、金顶柳(*S. luctuosa*)、西南樱桃(*Prunus duclouxii*)、峨眉蔷薇、陕甘花楸(*Sorbus koehneana* Schneid.)及冷杉幼苗等。地被植物有早熟禾和冰川茶藨子等。

2 研究方法

样品采集。表土样品采集和植被样方调查同时进行, 样方面积森林为 10 m×10 m, 灌木为 5 m×5 m, 采用全球定位系统(GPS)定位样方的经度、纬度和海拔, 自山麓至山顶顺坡而上海拔每升高大约 100 m 依据梅花 5 点法采集地表苔藓样品约 200 g, 各样点主要植物类型如表 1。

实验分析。样品采用常规的氢氟酸 HF 法处理^[53], 取样约 5—10 g, 加入 1 片石松孢子(27637 粒)计算孢粉浓度, 去除样品中碳酸盐、硅酸盐、腐殖质和有机质等, 然后在超声波振荡器中用 10 μm 筛网富集孢粉, 最后加入甘油保存, 待制片鉴定。

孢粉鉴定统计参照《中国热带亚热带被子植物花粉形态》^[54]、《中国植物花粉形态》^[55]和《中国第四纪孢粉图鉴》^[56]等植物花粉形态书刊以及现代花粉标准片在德国 Zeiss 生物显微镜下完成。

每个样品统计孢粉 478—1709 粒,平均 756 粒。

数据处理。将孢粉统计结果以占陆生种子植物花粉总和为基数进行百分比计算,并运用 Tilia 软件进行孢粉图式制图^[57]。Canoco for Windows 软件是生态学用于约束与非约束排序工具,能获得生态数据统计模型,可以洞察生物群落结构、植物与植物群落以及它们之间的环境联系^[58],文中利用 Canoco 软件对峨眉山表土孢粉数据进行统计和排序。

表 1 峨眉山 40 个表土样点位置和植被类型

Table 1 Site informations and vegetational zones of 40 samples in the Emei Mountains

样号 Sample No.	经度 Longitude/E	纬度 Latitude/N	高程 Altitude/m	坡向 Slope aspect	盖度 Coverage/%	高度 Height/m	植被类型 Vegetation zones	主要植物种类 Main plant species
E01	103°26′07.00″	29°33′48.00″	557	E	65	17	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:桢楠、柏木、樟树、银杏、柳杉、水杉、楝树、杉木;灌木:慈竹、木姜子、灯台树、槲木;草本:雾水葛、皱叶狗尾草、商陆、楼梯草、过路黄、鱼眼草、山姜、水蕨、卷柏
E02	103°25′35.25″	29°33′53.43″	635	NE	100	20	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:小片柳杉林、桢楠、银杏、柏木、野芭蕉;灌木:竹林、炒锣;草本:牛膝、扁竹根、山姜、雾水葛、蕨类
E03	103°25′21.65″	29°33′52.34″	733	W	85	15	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:小片柳杉林、柏木、楠木、枫香;灌木:灯台树、藤构、毛桐;草本:牛膝、凤仙花、山姜、掌叶秋海棠、雾水葛、竹叶草
E04	103°25′10.65″	29°34′10.09″	887	NW	95	30	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:小片柳杉林、楠木、杜英、水冬瓜、野核桃、五倍子树、银杏、棕榈;灌木:楠竹;草本:异药花、雾水葛、黄精、拔莫、异叶天南星
E05	103°24′44.84″	29°34′09.83″	871	SW	85	15	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:野核桃、杉木、香樟、杜英、水冬瓜、棕榈、野芭蕉;灌木:八角枫、梨树、柚子、桃叶珊瑚、毛竹、慈竹、南酸枣、枇杷、高粱泡;草本:山姜、鹅冠草、薯蓣、苎麻、狗脊
E06	103°24′09.74″	29°34′14.63″	726	SE	90	25	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:桢楠、柳杉、水冬瓜、杜英、五倍子树、板栗;灌木:山矾、八角枫、灯台树、异叶榕、山茶;草本:蓼、一把伞天南星、高粱泡
E07	103°23′54.03″	29°34′17.67″	801	SW	95	25	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:楠木、柳杉、杉木、桉树、板栗、五倍子树;灌木:茶、灯台树、木姜子、竹、小叶女贞、异叶榕、菱叶冠毛榕;草本:寒梅、百两金、苎麻
E08	103°23′29.70″	29°34′14.69″	678	S	80	15	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:楠木、黑壳楠、柳杉、川桂、五倍子树;灌木:八角枫、木姜子;草本:凤仙花、雾水葛、异药花、楼梯草、一把伞天南星
E09	103°23′19.40″	29°33′36.14″	766	SW	75	10	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:黑壳楠、楠树、川桂、盐肤木;灌木:桃叶珊瑚、蔷薇;草本:凤仙花、野棉花、雾水葛
E10	103°23′06.04″	29°33′17.25″	915	NNE	80	25	低山常绿阔叶林 间 人 工 次 生林	乔木:润楠、峨眉黄肉楠、柏木、一小片五倍子树林、黑壳楠、楠木、肉桂、交让木;灌木:桃叶珊瑚、灯台树、木姜子;草本:扁竹根、雾水葛、苎麻
E11	103°22′41.16″	29°33′13.02″	1051	N	90	20	中 山 常 绿 阔 叶林	乔木:润楠、桢楠、黑壳楠、柏木、肉桂、杉木、盐肤木、漆树、柳杉;灌木:八角枫、木姜子、灯台树、刺楸;草本:菊、拔莫、雾水葛、黄精、卷柏

样号 Sample No.	经度 Longitude/E	纬度 Latitude/N	高程 Altitude/m	坡向 Slope aspect	盖度 Coverage/%	高度 Height/m	植被类型 Vegetation zones	主要植物种类 Main plant species
E12	103°22′13.47″	29°33′01.38″	1190	N	85	25	中山常绿阔叶林	乔木:楠木;灌木:灯台树、木荷、金丝梅、鹅耳枥、木姜子;草本:紫堇、绞股蓝、凤仙花、竹叶草
E13	103°22′03.35″	29°33′00.45″	1375	NE	85	15	中山常绿阔叶林	乔木:润楠、四川木莲;灌木:灯台树、木荷、毛桐、方竹、榉木;草本:唇形
E14	103°21′55.94″	29°32′58.49″	1465	S	95	10	中山常绿阔叶林	乔木:青冈、小叶青冈、栎树、杉木、槲树;灌木:黄丹木姜子、灯台树、稠李;草本:扁竹根、禾本科
E15	103°21′43.39″	29°33′02.15″	1570	E	75	15	常绿落叶阔叶混交林	乔木:栎树、槭树、天师栗、润楠;灌木:旌节花、木荷、木姜子、灯台树、悬钩子;草本:唇形、忍冬、扁竹根、野棉花、荨麻
E16	103°21′24.60″	29°33′00.80″	1707	N	75	25	常绿落叶阔叶混交林	乔木:珙桐、天师栗、峨眉栲、杈叶槭、稠李、润楠、白辛树;灌木:方竹、山茶、峨眉银叶杜鹃、簇叶新木姜子;草本:粗齿冷水花、禾草、峨参、楼梯草、山酢浆草、重楼、短尾细辛
E17	103°21′13.00″	29°33′06.00″	1687	NW	75	20	常绿落叶阔叶混交林	乔木:一小片华西枫杨、珙桐、天师栗、槭树、枫香、杉木、硬壳柯、柳杉;灌木:山茶、箭竹、盘叶罗伞;草本:凤仙花、楼梯草
E18	103°21′01.28″	29°33′36.11″	1547	SSW	70	25	常绿落叶阔叶混交林	乔木:珙桐、杉木、槭树、峨眉栲、桂樱;灌木:灯台树、忍冬、山矾、箭竹、山茶、蔷薇;草本:楼梯草、荨麻科
E19	103°21′04.00″	29°33′38.00″	1678	SSW	90	25	常绿落叶阔叶混交林	乔木:峨眉栲、瘦椒树、川桂、樟树、鹅耳枥、珙桐、杉木、润楠、槭树;灌木:山矾、灯台树、木荷、桃叶珊瑚、稠李;草本:常春藤
E20	103°21′02.75″	29°33′46.34″	1797	分水岭	85	10	常绿落叶阔叶混交林	乔木:峨眉栲、白辛树、瘦椒树、漆树、盐肤木、杉木、柳杉、槭树;灌木:山茱萸、山矾、川桂、木荷、蔷薇、旌节花、稠李、峨眉银叶杜鹃、木姜子;草本:冷水花、绣球花
E21	103°20′41.04″	29°33′38.67″	1853	ENE	70	25	常绿落叶阔叶混交林	乔木:中华槭、瘦椒树、柳杉、山茱萸;灌木:箭竹、荚蒾、山胡椒、拔葵、川桂;草本:冷水花
E22	103°20′37.39″	29°33′32.02″	2000	N	75	15	常绿落叶阔叶混交林	乔木:冷杉、山茱萸、盐肤木、漆树、水杉、云杉、杉木、峨眉栲、槭树、山桐子、珙桐;灌木:杜鹃、箭竹、阴香、蔷薇;草本:冷水花、丛枝蓼、毛茛
E23	103°20′41.73″	29°33′21.13″	2128	NE	95	15	常绿落叶阔叶混交林	乔木:峨眉栲、冷杉、槭树;灌木:杜鹃、悬钩子、蔷薇、川莓、箭竹;草本:荨麻、石竹、碎米荠、凹叶景天
E24	103°20′43.32″	29°33′11.49″	2233	W	90	20	针阔混交林	乔木:一小片峨眉栲林、槭树、枫香;灌木:箭竹;草本:蕨类
E25	103°20′30.76″	29°32′57.65″	2242	NNW	95	15	针阔混交林	乔木:冷杉、云杉、红豆杉、盐肤木、漆树、槭树、枫香;灌木:杜鹃、五加、山胡椒、金银花;草本:莎草、碎米荠
E26	103°20′26.09″	29°32′53.13″	2308	NNW	85	20	针阔混交林	乔木:一小片华西枫杨林、冷杉;灌木:杜鹃;草本:凹叶景天
E27	103°20′21.43″	29°32′48.61″	2373	N	75	12	针阔混交林	乔木:冷杉、槭树;灌木:杜鹃、悬钩子、箭竹;草本:冷水花、碎米荠、丛枝蓼、禾本科、菊科

续表

样号 Sample No.	经度 Longitude/E	纬度 Latitude/N	高程 Altitude/m	坡向 Slope aspect	盖度 Coverage/%	高度 Height/m	植被类型 Vegetation zones	主要植物种类 Main plant species
E28	103°20′13.56″	29°32′47.80″	2426	N	80	25	针阔混交林	乔木:冷杉、枫香、槭树;灌木:杜鹃、花楸、峨眉蔷薇;草本:蓼
E29	103°20′01.52″	29°32′36.74″	2394	分水岭	90	8	针阔混交林	乔木:冷杉、槭树;灌木:杜鹃、荚蒾、金银花、峨眉蔷薇、西南樱桃;草本:碎米荠、唇形科、蓼
E30	103°19′36.06″	29°32′08.80″	2430	NE	95	25	针阔混交林	乔木:冷杉、桦树、槭树;灌木:杜鹃、箭竹、峨眉蔷薇、金顶柳;草本:野草莓、黄精、蓼、空心蕨
E31	103°19′51.34″	29°31′56.25″	2631	N	95	5	针叶林	乔木:冷杉;灌木:峨眉蔷薇、微毛野樱桃、槭树、杜鹃、茶藨子、高山小檗;草本:蓼、蕨麻、蕨类、凤仙花
E32	103°19′47.22″	29°31′52.77″	2710	NNW	90	15	针叶林	乔木:冷杉;灌木:杜鹃、峨眉蔷薇、微毛野樱桃、槭树、茶藨子、箭竹;草本:委陵菜属、碎米荠、冷水花、蓼
E33	103°19′36.46″	29°31′49.77″	2800	WNW	95	25	针叶林	乔木:冷杉;灌木:杜鹃、峨眉蔷薇、槭树、茶藨子、冷箭竹;草本:蛇莓、蓼、凤仙花
E34	103°19′56.00″	29°31′37.85″	2920	NW	90	15	针叶林	乔木:冷杉;灌木:杜鹃、峨眉蔷薇、微毛野樱桃、箭竹、金银花;草本:蓼、美丽南星、碎米荠、凹叶景天
E35	103°19′59.12″	29°31′19.35″	2974	N	85	15	针叶林	乔木:冷杉;灌木:杜鹃、微毛野樱桃、金银花、花楸、峨眉蔷薇;草本:蓼、冷水花
E36	103°19′53.68″	29°30′41.87″	3020	W	90	15	针叶林	乔木:冷杉、铁杉;灌木:杜鹃、冷箭竹、高山柳;草本:蓼、冷水花、美丽南星
E37	103°19′53.75″	29°30′42.87″	3099	W	90	14	针叶林	乔木:冷杉;灌木:杜鹃、茶藨子、陕甘花楸、冷箭竹;草本:蓼
E38	103°19′53.61″	29°31′03.84″	2970	SSW	90	8	灌丛草甸	灌木:金顶柳、高山柏、峨眉蔷薇、冷杉幼苗、微毛野樱桃、金顶杜鹃、峨眉光亮杜鹃、陕甘花楸、冷箭竹、茶藨子;草本:珠芽蓼、银叶委陵菜、亚欧唐松草、蒴藋、火绒草
E39	103°19′53.00″	29°31′03.00″	2973	SSW	90	8	灌丛草甸	灌木:金顶柳、高山柏、峨眉蔷薇、微毛野樱桃、金顶杜鹃、峨眉光亮杜鹃、陕甘花楸、冷箭竹、茶藨子;草本:珠芽蓼、银叶委陵菜、亚欧唐松草、蒴藋、火绒草
E40	103°19′52.63″	29°31′02.86″	2968	SSW	90	8	灌丛草甸	灌木:金顶柳、高山柏、峨眉蔷薇、微毛野樱桃、金顶杜鹃、峨眉光亮杜鹃、陕甘花楸、冷箭竹、茶藨子;草本:珠芽蓼、银叶委陵菜、亚欧唐松草、蒴藋、火绒草

E :东,即 East 缩写;NE :北东,即 Northeast 缩写;W :东,即 West 缩写;NW :北西,即 Northwest 缩写;SW :南西,即 Southwest 缩写;SE :南东,即 Southeast 缩写;S :南,即 South 缩写;NNE :北北东,即 North-northeast 缩写;N :北,即 North 缩写;SSW :南南西,即 South-southeast 缩写;ENE :东北东,即 East-northeast 缩写;NNW :北北西,即 North-northeast 缩写;WNW :西北西,即 West-northeast 缩写

3 结果与分析

峨眉山 40 个表土孢粉样品共鉴定出 136 科(属),其中乔木 46 科(属),灌木 35 科(属),草本 38 科(属)和蕨类孢子 16 科(属)等。主要孢粉类型有:针叶树花粉有冷杉属、柏科、杉科和松属等;常绿阔叶树花粉有栲属/柯属、常绿栎类、青冈属和桃金娘科等;落叶阔叶树花粉可见栗属、落叶栎类、桦属、桤木属、胡桃属、枫杨

属、榆属、青檀属、枫香属、金缕梅科、槭属、桑属和盐肤木属等;灌木植物花粉有鹅耳枥属/榛属、杜鹃花科、接骨木属、蜡瓣花属、绣线菊属、蔷薇科、野桐属和木樨科等;陆生草本植物花粉有禾本科、蒿属、藜科、十字花科、蝶形花科、毛茛科、蓼草属、荨麻属、虎耳草属、凤仙花属和莎草科等;水生植物花粉可见香蒲属、鸭跖草科、泽泻属、慈姑属等;蕨类孢子主要有水龙骨科、里白属、卷柏属、凤尾蕨属、紫萁属、桫欏属等(图4,7,8,9)。

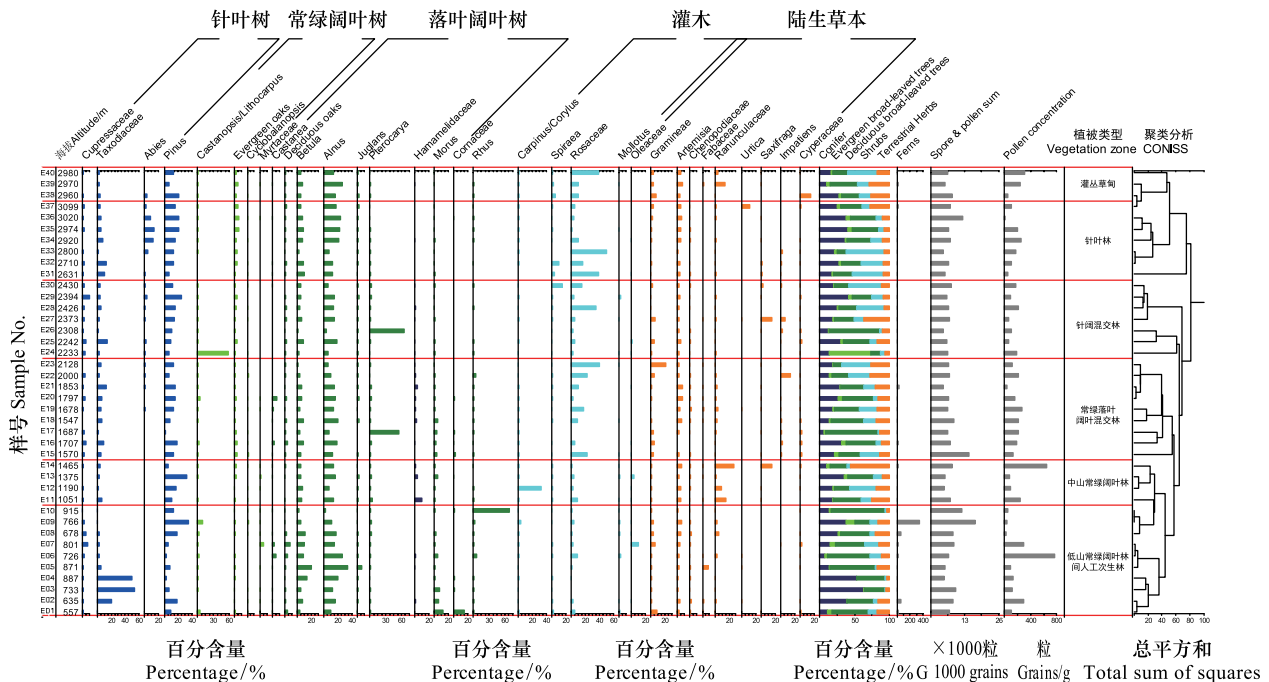


图4 峨眉山表土孢粉百分图谱

Fig.4 Pollen percentage diagram of the surface samples from the Emei Mountains

Cupressaceae: 柏科; Taxodiaceae: 杉科; *Abies*: 冷杉属; *Pinus*: 松属; *Castanopsis/Lithocarpus*: 栲属/柯属; Evergreen quercus: 常绿栎类; *Cyclobalanopsis*: 青冈属; Myrtaceae: 桃金娘科; *Castanea*: 栗属; Deciduous quercus: 落叶栎类; *Betula*: 桦属; *Alnus*: 桤木属; *Juglans*: 胡桃属; *Pterocarya*: 枫杨属; Hamamelidaceae: 金缕梅科; *Morus*: 桑属; Cornaceae: 山茱萸科; *Rhus*: 盐肤木属; *Carpinus/Corylus*: 鹅耳枥属/榛属; *Spiraea*: 绣线菊属; Rosaceae: 蔷薇科; *Mollotus*: 野桐属; Oleaceae: 木樨科; Gramineae: 禾本科; *Artemisia*: 蒿属; Chenopodiaceae: 藜科; Fabaceae: 蝶形花科; Ranunculaceae: 毛茛科; *Urtica*: 荨麻属; *Saxifraga*: 虎耳草属; *Impatiens*: 凤仙花属; Cyperaceae: 莎草科; Conifer: 针叶树; Evergreen broad-leaved trees: 常绿阔叶树; Deciduous broad-leaved trees: 落叶阔叶树; Shrubs: 灌木; Terrestrial herbs: 陆生草本; Ferns: 蕨类; Spores & pollen sum: 孢粉总数; Pollen concentration: 孢粉浓度

3.1 花粉组合与浓度整体特征

峨眉山所有样品花粉组合中木本植物百分含量(44.5%—96.0%)占绝对优势,平均83.3%,其中针叶树、常绿阔叶树、落叶阔叶树和灌木花粉含量分别为24.1%、5.1%、36.2%和17.9%;草本植物花粉含量16.7%。木本植物中落叶阔叶树花粉含量(12.2%—77.6%)最高,以桤木属(2.7%—33.4%)和桦属(0.4%—33.4%)为主,枫杨属(0.1%—65.1%)和盐肤木属(0—68.9%)有一定含量;针叶树花粉含量(6.6%—62.5%)次之,主要有松属(1.6%—34.3%)和杉科(0.5%—53.6%),柏科(0—9.6%)和冷杉属(0—12.9%)有一定含量;灌木植物花粉含量(1.5%—54.9%)较低,蔷薇科占优势(0—50.2%),鹅耳枥属/榛属(0—32.3%)、绣线菊属(0—14.5%)和木樨科(0—10.4%)有一定含量;常绿阔叶树花粉含量(0.4%—59.9%)最低,以栲属/柯属(0—57.7%)和常绿栎类(0—6.2%)为主。草本植物花粉(4.0%—55.5%)中禾本科(0—21.3%)、蒿属(0—7.4%)和毛茛科(0—27.4%)含量较高,十字花科(0—4.9%)、虎耳草属(0—15.3%)、凤仙花属(0—14.3%)和莎草科(0—14.8%)有一定含量。木本植物花粉(Arboreal Pollen)与草本植物花粉(Nonarboreal Pollen)比值(AP/NAP)约为5。

峨眉山表土孢粉浓度(17513—767450粒/g)很高,平均174003粒/g(图5),桤木属浓度最高,达到24349粒/g;其次杉科(10176粒/g)、松属(16831粒/g)和蔷薇科(17964粒/g)等浓度在10000粒/g以上,桦属

(9399 粒/g)、枫杨属(6389 粒/g)、蒿属(5639 粒/g)、毛茛科(7628 粒/g)和水龙骨科(9383 粒/g)等浓度均超过 5000 粒/g;此外,柏科(2628 粒/g)、冷杉属(1823 粒/g)、栲属/柯属(3872 粒/g)、常绿栎类(2645 粒/g)、落叶栎类(2743 粒/g)、桑属(2952 粒/g)、盐肤木属(2419 粒/g)、绣线菊属(2078 粒/g)、禾本科(3671 粒/g)、虎耳草属(2589 粒/g)、和里白属(2704 粒/g)等浓度均较高,高于 2000 粒/g。桤木属、蔷薇科、松属和杉科花粉浓度远远高于其他孢粉类型,这可能反映其母体植物在峨眉山花粉产量总量较大,或易散播的特征。

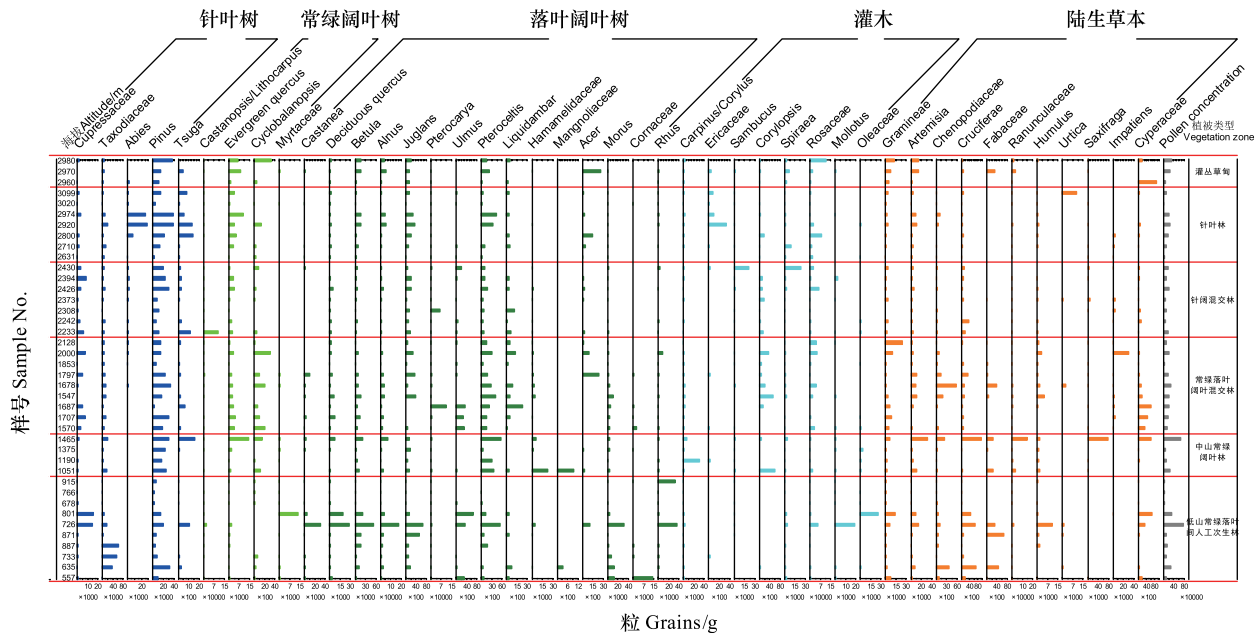


图 5 峨眉山表土孢粉浓度图谱

Fig.5 Pollen concentration diagram of the surface samples from the Emei Mountains

Cupressaceae: 柏科; Taxodiaceae: 杉科; *Abies*: 冷杉属; *Pinus*: 松属; *Tsuga*: 铁杉属; *Castanopsis/Lithocarpus*: 栲属/柯属; *Evergreen quercus*: 常绿栎类; *Cyclobalanopsis*: 青冈属; *Myrtaceae*: 桃金娘科; *Castanea*: 栗属; *Deciduous quercus*: 落叶栎类; *Betula*: 桦属; *Alnus*: 桤木属; *Juglans*: 胡桃属; *Pterocarya*: 枫杨属; *Ulmus*: 榆属; *Pteroceltis*: 青檀属; *Liquidambar*: 枫香属; *Hamamelidaceae*: 金缕梅科; *Mangoliaceae*: 木兰科; *Acer*: 槭属; *Morus*: 桑属; *Cornaceae*: 山茱萸科; *Rhus*: 盐肤木属; *Carpinus/Corylus*: 鹅耳枥属/榛属; *Ericaceae*: 杜鹃花科; *Sambucus*: 接骨木属; *Corylopsis*: 蜡瓣花属; *Spiraea*: 绣线菊属; *Rosaceae*: 蔷薇科; *Mollotus*: 野桐属; *Oleaceae*: 木樨科; *Gramineae*: 禾本科; *Artemisia*: 蒿属; *Chenopodiaceae*: 藜科; *Fabaceae*: 蝶形花科; *Ranunculaceae*: 毛茛科; *Humulus*: 葎草属; *Urtica*: 荨麻属; *Saxifraga*: 虎耳草属; *Impatiens*: 凤仙花属; *Cyperaceae*: 莎草科; Pollen concentration: 孢粉浓度

3.2 DCA

利用 Canoco 5.0 软件对峨眉山表土花粉百分含量进行降趋势对应分析(DCA)(图 6),从分析的 136 科(属)中除去含量小于 1%和只在个别样品中出现的科(属),并对剩余的 52 科(属)中含量较小的科(属)降低权重进行 DCA。

结果显示,前两轴累积方差贡献率为 19.5%(第一轴 = 12.1%,第二轴 = 7.4%)。第一轴正方向分布的样品主要为针阔混交林+针叶林+灌丛草甸,负方向为低山常绿阔叶林间人工次生林(图 6),花粉类型正方向为灌木+针叶树,负方向为人工种植树+常绿阔叶树类型(图 6),第一轴可能和温度变化相联系,这与峨眉山植物生长的影响因子有关,温度是控制植物分布的最主要因子之一,第一轴可能受海拔高度变化有关,反映峨眉山随海拔升高气温降低的规律。第二轴正方向为针阔混交林+常绿落叶阔叶混交林样品,花粉类型主要有枫杨属、榆属、柏科、枫香属、凤仙花属和山茱萸科等,负方向样品为低山常绿阔叶林间人工次生林+中山常绿落叶林,花粉类型为蝶形花科、血桐属、金缕梅科、黄栌属等,第二轴可能与水分条件变化有关,反映峨眉山山麓至山顶大气降水的差异。DCA 表明,通过样品花粉百分含量,能较好地地区分人工扰动林、阔叶林和针叶林,但常绿阔叶林、常绿落叶阔叶林和针阔混交林难以区分,这可能由于常绿阔叶林、常绿落叶阔叶林和针阔混交林

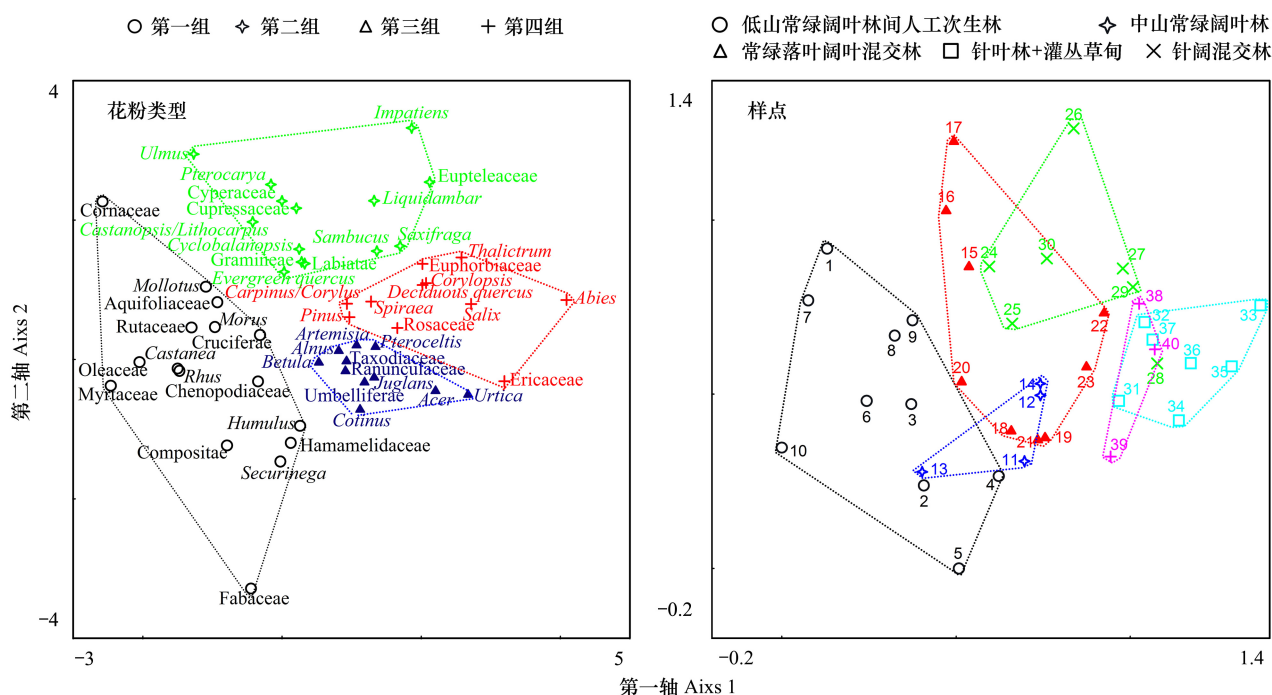


图 6 花粉类型与样点的 DCA 排序图

Fig.6 DCA results of surface pollen taxa and pollen sampling sites

Cupressaceae: 柏科; Taxodiaceae: 杉科; Abies: 冷杉属; Pinus: 松属; Castanopsis/Lithocarpus: 栲属/柯属; Evergreen quercus: 常绿栎类; Cyclobalanopsis: 青冈属; Myrtaceae: 桃金娘科; Castanea: 栗属; Deciduous quercus: 落叶栎类; Betula: 桦属; Alnus: 桤木属; Juglans: 胡桃属; Pterocarya: 枫杨属; Ulmus: 榆属; Pteroceltis: 青檀属; Liquidambar: 枫香属; Hamamelidaceae: 金缕梅科; Eupteleaceae: 领春木科; Acer: 槭属; Cotinus: 黄栌属; Morus: 桑属; Cornaceae: 山茱萸科; Rhus: 盐肤木属; Carpinus/Corylus: 鹅耳枥属/榛属; Salix: 柳属; Euphorbiaceae: 大戟科; Aquifoliaceae: 冬青科; Rutaceae: 芸香科; Securinega: 叶底珠属; Ericaceae: 杜鹃花科; Sambucus: 接骨木属; Corylopsis: 蜡瓣花属; Spiraea: 绣线菊属; Rosaceae: 蔷薇科; Mollotus: 野桐属; Oleaceae: 木樨科; Gramineae: 禾本科; Artemisia: 蒿属; Compositae: 菊科; Chenopodiaceae: 藜科; Cruciferae: 十字花科; Fabaceae: 蝶形花科; Labiatae: 唇形科; Umbelliferae: 伞形科; Ranunculaceae: 毛茛科; Thalictrum: 唐松草属; Humulus: 葎草属; Urtica: 荨麻属; Saxifraga: 虎耳草属; Impatiens: 凤仙花属; Cyperaceae: 莎草科

样品中落叶阔叶树分布较广,花粉含量均较高的缘故;针叶林和灌丛草甸也较难区分,这可能源于灌丛草甸分布区原生植被为针叶林,只是后来遭人工砍伐次生演替所致,且灌丛草甸与周围冷杉林相距较近,受冷杉林影响明显,故其与冷杉林的花粉组合相似。

4 讨论

4.1 花粉组合与植被类型的关系

研究区植被类型主要为亚热带常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、针阔混交林、针叶林和灌丛草甸,其中亚热带常绿阔叶林由于受海拔高度和人类活动影响,又可划分为低山常绿阔叶林间人工次生林和中山常绿阔叶林。

1) 低山常绿阔叶林间生人工次生林 花粉组合中落叶阔叶树占优势 (22.3%—77.6%),以桤木属 (2.7%—33.4%)、桦属 (2.6%—20.3%) 和盐肤木属 (0—68.9%) 为主,栗属 (0—4.7%)、落叶栎类 (0.2%—7.8%)、胡桃属 (0.2%—6.0%)、枫杨属 (0.2%—2.8%)、榆属 (0—3.3%)、桑属 (0—12.6%)、山茱萸科 (0—14.4%) 等含量较高。针叶树花粉含量 (7.8%—62.5%) 其次,以松属 (3.0%—34.4%) 和杉科 (0.5%—53.6%) 为主,且含有少量的柏科 (0.1%—6.5%)。灌木花粉含量 (1.5%—20.1%) 较低,以蔷薇科 (0—9.2%) 为主。常绿阔叶树花粉含量 (0.6%—12.3%) 最低,主要见栲属/柯属 (0—9.7%) 和桃金娘科 (0—5.5%)。草本花粉含量 (4.0%—21.0%) 较低,以禾本科 (0.7%—8.1%) 和蒿属 (0.9%—6.4%) 为主。水生草本植物花粉含量 (0—

2.3%)很低,约0.4%;蕨类孢子比重(4.3%—336.3%)较大,约54.3%,以水龙骨科(1.0%—57.8%)、凤尾蕨属(0—124.8%)和桫欏属(0—94.6%)为主。木本植物与草本植物花粉 AP/NAP 比值约为10.1;孢粉浓度191572粒/g。花粉组合中常绿阔叶树含量为4%,主要见栲属/柯属、常绿栎类和青冈属等,柏科、杉科、桃金娘科、栗属、桤木属、胡桃属、枫杨属、盐肤木属和禾本科等人工栽培植物花粉占约47.6%。群落中常绿阔叶优势种主要有樟科细叶楠、润楠、香樟等,样品中未发现其花粉,这可能与樟科花粉壁较薄很难保存下来有关^[59];人工种植的林木树种主要有柏木、水杉、柳杉、桉树、板栗、水冬瓜、野核桃、枫杨、五倍子和慈竹等,其花粉含量约占一半,能较好地对应。故低山常绿阔叶林间生人工次生林花粉组合能较好地反映群落的人类活动痕迹,但未能指示母体植被的地带性特征。

2) 中山常绿阔叶林 花粉组合中落叶阔叶树占优势(21.6%—39.8%),以桤木属(7.3%—16.4%)和桦属(4.2%—6.7%)为主。常绿阔叶树花粉含量(1.9%—4.7%)最低,主要见常绿栎类(0.2%—2.7%)和冬青科(0.4%—1.6%)。草本花粉含量(9.7%—55.5%)较高,以蒿属(2.7%—6.0%)、毛茛科(1.6%—27.4%)和虎耳草属(0—14.9%)为主。针叶树花粉含量(10.1%—35.7%)较低,以松属(5.8%—32.0%)和杉科(1.6%—6.7%)为主。灌木花粉含量(5.4%—38.3%)较低,以蔷薇科(1.6%—8.8%)和鹅耳枥属/榛属(0.6%—32.3%)为主。蕨类孢子含量(3.8%—21.1%)较低,以水龙骨科(0.8%—3.9%)和里白属(0.4%—9.5%)为主。木本植物与草本植物花粉 AP/NAP 比值约为4.3;孢粉浓度265198粒/g。花粉组合中常绿阔叶树含量仅为3.3%,主要见常绿栎类、冬青科、桃金娘科、栲属/柯属和青冈属等。群落分布的优势树种有壳斗科石栎属、栲属、青冈属、樟科桢楠属、润楠属、黄肉楠属、樟属、山胡椒属和木姜子属,山茶科木荷属等,花粉组合中仅可见优势种类型,不占优势,也不能反映群落总体特征。故中山常绿阔叶林花粉组合未能反映母体植被的植物组成特征。

3) 常绿落叶阔叶混交林 花粉组合中落叶阔叶树占优势(12.2%—74.1%),以桤木属(5.4%—20.4%)、桦属(1.2%—9.0%)和枫杨属(0.1%—55.8%)为主。常绿阔叶树花粉含量(0.8%—6.9%)最低,主要见栲属/柯属(0—3.6%)、常绿栎类(0.4%—3.1%)和青冈属(0—1.6%)。针叶树、灌木和草本植物花粉含量相当,约19%,分别为20.1%、19.3%和18.9%。针叶树花粉含量(6.6%—31.7%)超过1/5,以松属(1.6%—18.5%)和杉科(2.1%—13.3%)为主。灌木花粉含量(3.3%—41.3%)略高于19%,以蔷薇科(0—40.6%)为主。草本花粉含量(12.0%—28.4%)略低于19%,以禾本科(0.3%—21.3%)、凤仙花属(0—14.3%)和蒿属(0—7.4%)为主。水生草本植物花粉含量约为0.1%;蕨类孢子含量(0.9%—25.8%)较高(8.4%),以水龙骨科(0.1%—17.1%)为主。木本植物与草本植物花粉 AP/NAP 比值约为4.7;孢粉浓度174652粒/g。花粉组合中阔叶树含量(41.7%)占优势,主要花粉类型有桤木属、桦属、枫杨属、松属、杉科、蔷薇科和禾本科等,柏科、栲属/柯属、落叶栎类、青冈属、落叶栎类花粉含量也较高;植物群落中优势种常绿阔叶树种有润楠、峨眉栲、包石栎和交让木等,落叶阔叶树种有华西枫杨、白辛树、木瓜红、鸡爪槭、稠李和珙桐等。花粉组合特征可以指示植物群落的外貌特征,但只能指示群落的部分优势种和建群种,难以反映母体植被中植物组成规律。

4) 针阔混交林 花粉组合中落叶阔叶树占优势(13.9%—72.9%),以桤木属(3.3%—18.5%)和枫杨属(0.2%—65.1%)为主,桦属(0.4%—9.0%)、落叶栎类(0—2.9%)、胡桃属(0.5%—2.2%)和桑属(0—1.3%)等含量较高。针叶树花粉含量(12.9%—41.4%)其次,以松属(6.3%—24.4%)和杉科(1.0%—14.7%)为主,柏科(0.6%—9.6%)和冷杉属(0—2.6%)有一定含量。灌木花粉含量(3.8%—46.4%)再次,以蔷薇科(1.9%—35.2%)为主。常绿阔叶树花粉含量(0.4%—59.9%)最低,主要见栲属/柯属(0.2%—57.7%)和常绿栎类(0.2%—3.6%)。草本花粉含量(6.5%—36.9%)较低,以禾本科(0—6.6%)和蒿属(1.9%—4.4%)为主。水生草本植物花粉含量(0.4%)很低;蕨类孢子比例(5.8%)较低,以水龙骨科为主。木本植物与草本植物花粉 AP/NAP 比值约为8.4;孢粉浓度130794粒/g。花粉组合中乔木占绝对优势,达2/3,针叶树花粉以柏科、杉科、冷杉属和松属为主,阔叶树花粉主要有栲属/柯属、桦属、桤木属、枫杨属等,见槭属,灌木花粉主要有蔷薇科、绣线菊属,还可见杜鹃花科和柳属,禾本科花粉含量也较高,这和母体植被中主要分布冷杉、槭树、峨眉栲、全苞石栎、细齿稠李、峨眉蔷薇、悬钩子、糙皮桦、华西枫杨、金顶柳和方竹等对应很好。因此,针阔混交林花粉

组合不但能很好地反映群落特征,而且花粉百分含量高的类型可以与母体植被中优势种很好地对应。

5) 针叶林 花粉组合中针叶树含量(18.2%—40.5%)最高,以松属(7.3%—21.2%)、杉科(2.1%—13.0%)和冷杉属(0—12.9%)为主,见柏科(0—2.0%)和铁杉属(0.2—0.9%)。落叶阔叶树花粉含量(12.7%—37.5%)其次,以桤木属(7.2%—23.2%)和桦属(1.9%—10.0%)为主。灌木花粉含量(8.3%—54.9%)再次,以蔷薇科(1.5%—50.2%)为主。常绿阔叶树花粉含量(1.3%—7.1%)最低,主要见常绿栎类(0.6%—6.2%)。草本花粉含量(7.2%—28.5%)较低,以蒿属(1.3%—5.8%)为主,禾本科(0.2%—3.2%)、荨麻属(0—11.9%)和毛茛科(0—2.0%)有一定含量。蕨类孢子含量(4.6%)较低,以水龙骨科为主。木本植物与草本植物花粉 AP/NAP 比值为 9.1;孢粉浓度 126881 粒/g。花粉组合中针叶树含量最高,约为 30%,以松属为主,冷杉属、铁杉属、杉科和柏科含量较高,这能部分地反映母体植被中建群种冷杉和铁杉的分布。灌木花粉含量 25%,主要有蔷薇科和绣线菊属,杜鹃花科和柳属含量也较高,禾本科也有一定含量,这与母体植被中峨眉蔷薇、高山绣线菊、杜鹃、高山柳、冷箭竹和大箭竹等灌木分布对应良好。花粉组合中针叶树+灌木+禾本科含量超过 56%,这和群落中由于冷杉过熟,树木老朽,林间空隙较大,灌木生长茂盛的群落特征对应较好,但未能反映出优势种冷杉的主体特征。故针叶林花粉组合只能基本反映母体植被的群落特征。

6) 灌丛草甸 花粉组合中灌木花粉含量(16.6%—41.8%)较高,平均 25.3%,以蔷薇科(9.5%—38.4%)为主,见鹅耳枥属/榛属(0.8%—0.8%)、绣线菊属(1.1%—4.7%)和柳属(0.3%—0.6%)。草本花粉含量(18.1%—28.8%)较低,以禾本科(3.1%—7.7%)、蒿属(3.5%—7.1%)、毛茛科(0.5%—14.1%)和莎草科(0—14.8%)为主,见虎耳草属(0—0.6%)。落叶阔叶树花粉含量(21.0%—39.4%)最高,以桤木属(13.3%—26.1%)和桦属(1.9%—10.0%)为主。常绿阔叶树花粉含量(3.4%—4.9%)最低,主要见常绿栎类(2.2%—4.1%)和青冈属(0—1.1%)。针叶树含量(9.6%—27.4%)较低,以松属(6.7%—20.3%)为主,见冷杉属(0—3.3%)。蕨类孢子比例(5.6%)较低,以水龙骨科为主。木本植物与草本植物花粉 AP/NAP 比值为 3.2;孢粉浓度 202673 粒/g。花粉组合中灌木和草本植物含量超过一半,灌木花粉以蔷薇科和绣线菊属为主,柏科、冷杉属、杜鹃花科、柳属和接骨木属等有一定含量,这和植物群落中主要分布峨眉蔷薇、微毛野樱桃、陕甘花楸、高山柏、金顶柳、杜鹃、冷杉幼苗、蒴藓和银叶委陵菜能很好地对应。草本花粉以禾本科、唐松草属和虎耳草科为主,这和母体植被中冷箭竹、茶藨子、亚欧唐松草等草本植物生长茂盛相对应。花粉组合中含量较高的类型与母体植被中建群种、优势种对应良好,这表明灌丛草甸的花粉组合能够较好地反映母体植被的群落组成特征。

4.2 主要花粉类型的散布特征

冷杉属花粉 E22—E38 号样品样点周围有冷杉分布,冷杉属花粉含量 2.9%左右;其他样点附近未见冷杉,其花粉含量 0.02%左右,低于 0.2%。其中冷杉林中冷杉属花粉含量为 5.3%,E35 号样品其含量最高,达 12.9%;针阔混交林中其含量为 0.8%,E29 号样品其含量更高,为 2.6%。冷杉属花粉具低代表性,这和前人在吉林长白山和陕西秦岭研究结果相一致, R 值介于 0.1—0.5 之间,其花粉含量低于 20%^[60-61];四川螺髻山和湖北神农架地区研究也显示,冷杉属花粉代表性很好,随冷杉优势度下降其花粉含量迅速降低,无冷杉分布时仅见个别冷杉属花粉^[62-63]。所以,样品中 5%以上含量冷杉属花粉的出现,就可指示冷杉林的存在;其 0.8%以上含量可以表明样点周围冷杉的分布;其 0.2%以下含量不能确定样点附近有冷杉生长。

杜鹃花科花粉 E16、E20 和 E22—E40 号样品样点周围有杜鹃分布,杜鹃花科花粉含量约 0.2%左右;其余样品样点附近未见杜鹃分布,其花粉含量仅为 0.03%。灌丛草甸杜鹃花科花粉含量约 0.07%,最高可达 0.2%;乔木林下其花粉含量约 0.2%,最高可达 1.4%。杜鹃花科花粉代表性很低, R 值为 0.79—0.83^[64-65],其花粉产量较低,传播能力较弱^[62],受外来花粉百分比递减补偿作用影响较大^[61],其 0.2%以上的花粉含量就能反映样点附近杜鹃的生长。

蔷薇科花粉 E9、E14—E15、E18—E20、E22—E23、E27—E35、E38—E40 号等样品样点中周围有蔷薇、悬钩子、花楸和峨眉蔷薇等生长,蔷薇科花粉含量约 17.7%;其余样品样点附近未见其母体植被分布,其花粉

含量约 3.5%。灌丛草甸中峨眉蔷薇和微毛野樱桃呈优势种群分布,其覆盖度平均可达 40%左右,蔷薇科花粉含量约 20%,最高可达 38%, R 值约为 0.5;乔木林下蔷薇作为林间植物分布,其花粉含量约 17.4%。甘肃兴隆山研究显示蔷薇科花粉具低代表性^[66],在蔷薇灌丛群落中代表性较低^[67],在山体样品花粉组合中其花粉的发现能够反映母体植被的生长^[68],这可能由于蔷薇科是虫媒植物,花粉产量低所致^[69]。

珙桐属花粉 E16—E19 和 E22 号样品样点周围有珙桐树生长,但仅在 E18 号样品中检测到 1 粒珙桐属花粉,且 E16 样品采自珙桐树开花后不久的大树荫下苔藓,也未发现其花粉。这可能源于珙桐属花粉外壁比较薄,仅 2—3 μm ^[70],实验处理易破碎,或者由于保存环境相对湿度大易氧化,这可能导致其在花粉组合中发现较少。故珙桐属花粉具很低代表性,珙桐属花粉的出现即指示样点周围有珙桐分布。

槭属花粉 E15—E25, E27—E33 号样品样点周围分布长尾槭、青榨槭、杈叶槭、扇叶槭、疏花槭、五尖槭、五裂槭、中华槭等多种槭树分布,槭属花粉含量约为 0.3%,最高为 1.6%;其余样品样点附近未见槭树生长,其花粉含量约为 0.09%。槭属花粉代表性很低, R 值 0.23—0.38^[64-65],其 1% 以上的花粉含量就能够反映样点周围母体植物的存在。

盐肤木属花粉 E04、E06—E11、E20、E22 和 E25 号样品样点周围有五倍子树分布,盐肤木属花粉含量约 8.6%,其中 E10 号样品采自五倍子树林底下苔藓,盐肤木属花粉含量高达 68.9%,样品附近零星生长五倍子树,其花粉含量约为 2%;其余样品样点周围未见五倍子树生长,其花粉含量约为 0.3%,个别含量高约 1.5%。盐肤木属花粉具低代表性, R 值介于 0.6—0.7 之间^[64-65],其花粉 2% 以上含量就可指示样点周围五倍子树的存在,60% 以上含量表明样点附近五倍子林的分布。

枫杨属花粉 所有样品中均可见枫杨属花粉,其含量介于 0.1%—65.1% 之间,平均 4.2%。样品周围无枫杨生长时其花粉含量约为 1.3%,个别样品含量能达到 3.7%;E17 和 E26 号样品采自枫杨树林底下,其花粉含量分别为 55.8% 和 65.1%。枫杨属花粉具超代表性,5% 以下含量时不能确定样点附近有枫杨分布,50% 以上含量时能够指示样品来自于枫杨林。也有研究认为枫杨属具低代表性, R 值为 0.64—0.69 之间^[64-65]。

栲属/柯属花粉 E16—E20 和 E22—E24 号样品样点周围有峨眉栲或硬壳柯分布,其花粉含量约为 8.3%,其中 E24 号样品采自峨眉栲林,其花粉含量高约 57.7%;其余样品附近未见其母体植物分布,但花粉组合中大多数可见栲属/柯属花粉的出现,含量约为 0.9%。因此,栲属/柯属花粉具超代表性,1% 以下花粉含量不能确定样点周围母体植物的存在,50% 以上花粉含量能够指示样点附近有栲树林的分布。

桉木属花粉 所有样品中均有桉木属花粉(2.7%—33.4%)出现,平均约 14.6%。E4—E6 号样品样点周围有人工种植的水冬瓜生长,其花粉含量约为 26.7%;其余样品样点附近未见其母体植物分布,其花粉含量约为 13.6%。桉木属花粉具超代表性, R 值为 1.16^[71];重庆缙云山样点周围没有母体植物分布,其花粉均有出现(2.8%—10.5%)^[72];昆明西山桉木属花粉含量为 9.0%—21.4%,样点附近 400 m^2 母体植被中无该植物分布,认为桉木属花粉不但产量大^[73],而且具有较强的传播能力^[73-74],本研究 and 前人结果相一致。

杉科花粉 所有样品均有杉科花粉(0.5%—53.6%)出现,平均 7.5%。E01—E08、E11、E14 和 E17—E22 号等样品样点周围有柳杉或(和)杉木生长,其花粉含量约 11.6%,其中 E02—E04 号样品采自柳杉林中,其花粉含量约为 41.1%;其余样品样点附近未见其母体植物分布,其花粉含量为 4.9%。因此,杉科花粉具超代表性,40% 以上花粉含量表明样点周围母体植物纯林分布,10% 以上含量指示样点附近母体植被的分布,5% 以下含量不能确定样点周围母体植物的生长。

4.3 孢粉组合的群落生态和古环境意义

峨眉山孢粉组合与其母体植被特征对比显示:中山常绿阔叶林花粉组合未能反映植物的群落特征;低山常绿阔叶林间生人工次生林和常绿落叶阔叶混交林花粉组合只能反映母体植被的部分植物组成;针叶林花粉组合基本可以指示母体植被的群落特征;灌丛草甸花粉组合能够较好地反映母体植被的群落组成特征;针阔混交林花粉组合不仅可以很好地指示群落特征,花粉高含量类型还可以与植物群落的优势种很好的对应。导致产生上述结果的原因可能是:(1) 由于受峨眉山地形地势限制,多数地段坡陡崖直,通行困难,所以,大部分

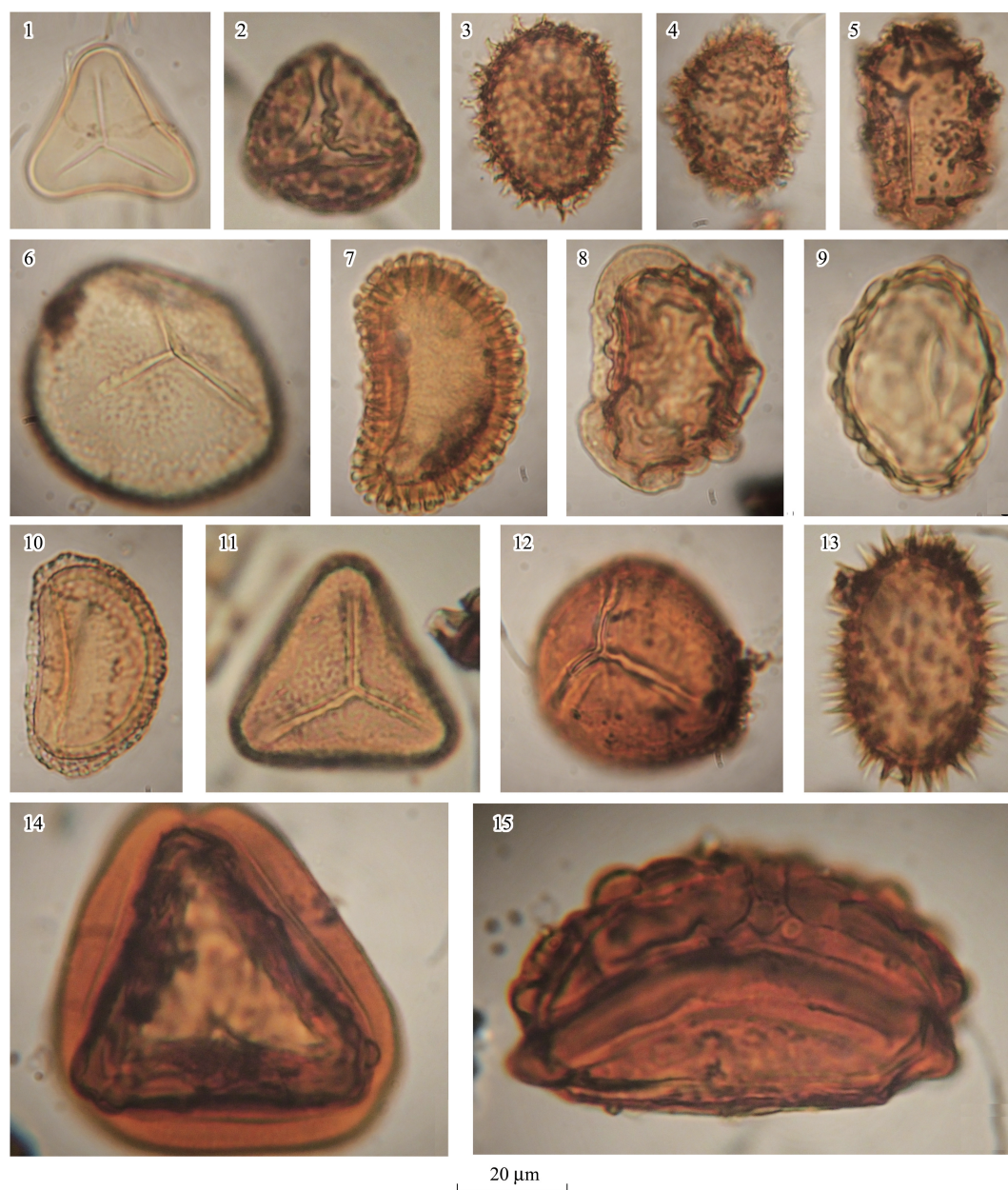


图7 表土花粉类型(I)

Fig.7 Types of surface pollen (I)

1. 里白属 *Hicriopteris* (样号 E09), 2. 卷柏属 *Selaginella* (样号 E08), 3、4、13. 金星蕨科 *Thelypteridaceae* (样号 E08、E09、E10), 5、7—10. 水龙骨科 *Polypodiaceae* (样号 E01、E02、E03); 6、12. 中国蕨科 *Sinopteridaceae* (样号 E15), 11. 桫欏科 *Cyatheaceae* (样号 E09), 14、15. 凤尾蕨属 *Pteris* (样号 E02、E09). 图示标本保存于吉首大学湖南省生态旅游重点实验室

样品只能沿着现有山路两侧 10—20 m 距离内采集,难以采用 100 m×100 m 乃至更大样方,很难均匀地覆盖整个山体,导致部分集群分布的种类难以区分开来,如华西枫杨群落和峨眉栲群落中枫杨属和栲属花粉含量较之邻近样品高出很多。(2) 由于峨眉山地处华西雨屏之南端^[75],山麓至山顶年平均气温较高,低云、多雾、雨量充沛,样点附近灌木和草本分布非常茂密,部分地段其盖度达 50%—70%,个别样点附近草本植物尤其繁盛,其花粉含量较高,稀释了木本植物花粉含量。(3) 由于峨眉山开发历史悠久,不论是山麓地区,还是山顶地带,都深深地打上了人类活动的烙印;由山麓至山顶沿途种植了大量栽培林木,主要有柳杉、水冬瓜、马尾松、华西枫杨、糙皮桦等,这使峨眉山植被分布带有很强的斑状性质。(4) 峨眉山植物种类极为丰富,现有高

等植物约 280 科 3703 种^[47],其中种子植物就达 2400 种^[46],孢粉鉴定虽然平均每样约 756 粒以上,部分样品统计达 1709 粒,但仍然难以囊括群落所有类型,这也是孢粉组合与群落中植物组成对应关系复杂的原因。(5) 受上升气流的影响,山麓地区花粉被风力沿坡逐次向上携带至山顶,使得山顶花粉组合受到山麓地带人工栽培种类干扰,样品中见大量松属和桉木属花粉。



图 8 表土花粉类型 (II)

Fig.8 Types of surface pollen (II)

1—3. 桉木属 *Alnus* (样号 E05、E06、E07), 4. 桦属 *Betula* (样号 E30), 5. 胡桃属 *Juglans* (样号 E20), 6. 榆属 *Ulmus* (样号 E30), 7, 8. 青檀属 *Pteroceltis* (样号 E12、E15), 9. 山黄麻属 *Trema* (样号 E15), 10—15. 蔷薇科 *Rosaceae* (样号 E06、E15、E19、E23、E28), 16, 17. 绣线菊属 *Spiraea* (样号 E30、E38), 18. 栲属/柯属 *Castanopsis/Lithocarpus* (样号 E24), 19, 23. 松属 *Pinus* (样号 E16、E36), 20. 杉科 *Taxodiaceae* (样号 E05), 21. 柏科 *Cupressaceae* (样号 E01), 22. 铁杉属 *Tsuga* (样号 E36), 24. 冷杉属 *Abies* (样号 E36)

峨眉山常绿阔叶林樟科群落是热带亚热带地区代表类群之一,现已查明约有樟科 11 属 60 种^[47],占四川现有樟科分布 14 属的 78.6%,96 种的 62.5%^[45],占中国樟科分布 20 属的 55%,423 种的 14.2%,占全世界樟科分布 45 属的 1/4^[59]。因此,常绿阔叶林樟科类群的研究具有典型意义。由于樟科花粉外壁薄,易破碎^[59],

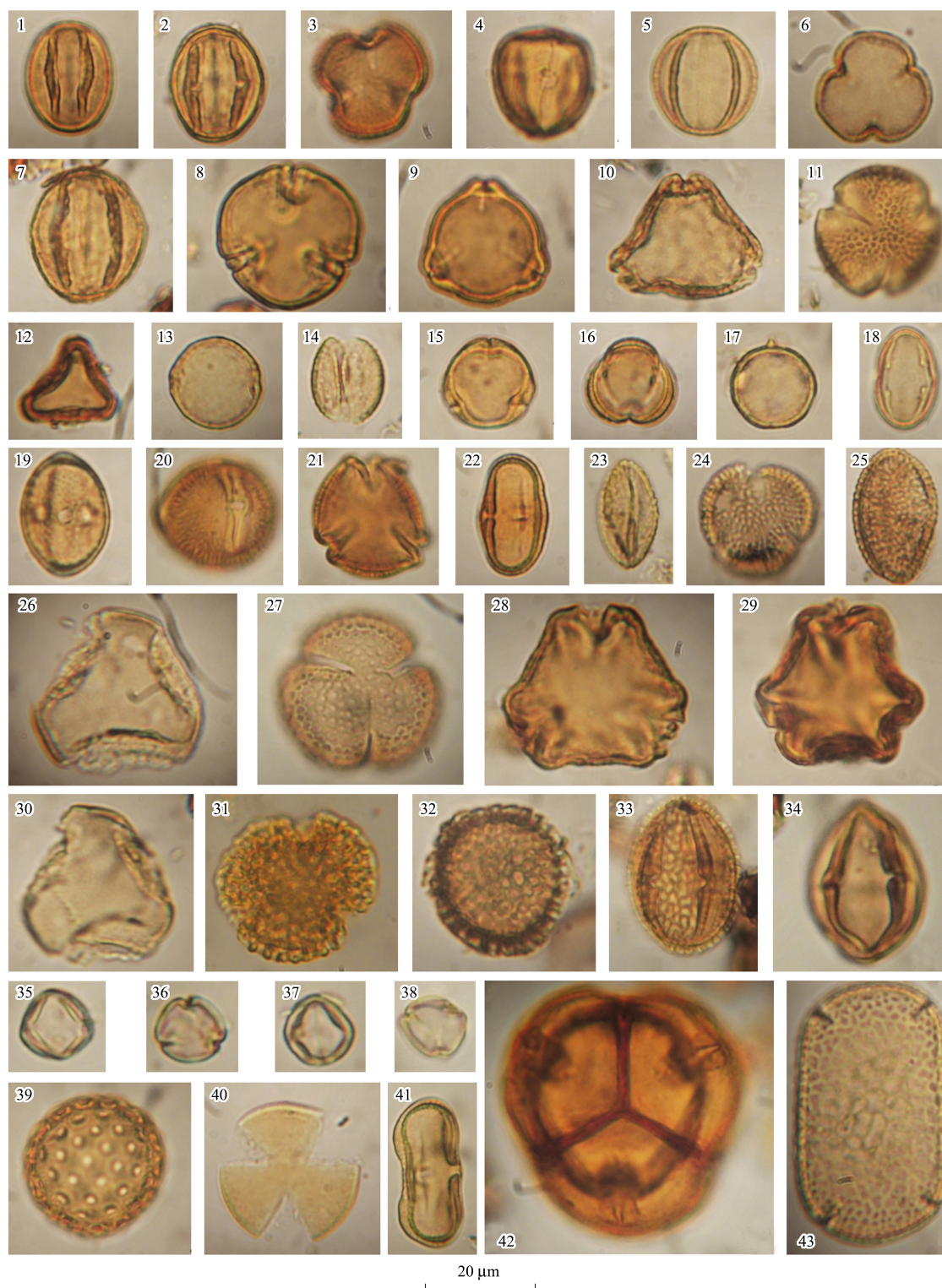


图9 表土花粉类型(Ⅲ)

Fig.9 Types of surface pollen (Ⅲ)

1、2. 青冈属 *Cyclobalanopsis* (样号 E15、E22), 3、4. 叶下珠属 *Phyllanthus* (样号 E17、E20), 5、6. 叶底珠属 *Securinega* (样号 E13、E18), 7. 栎属 *Quercus* (样号 E16), 8. 山麻杆属 *Alchornea* (样号 E15), 9. 楝属 *Melia* (样号 E10), 10. 山矾属 *Symplocos* (样号 E16), 11、18. 豆科 Leguminosae (样号 E11、E15), 12、19. 七叶树属 *Aesculus* (样号 E15), 13. 桑属 *Morus* (样号 E18), 14. 棕榈科 *Palmae* (样号 E15), 15. 野桐属 *Mallotus* (样号 E15), 16. 蒿属 *Artemisia* (样号 E20), 17. 唐松草属 *Thalictrum* (样号 E28), 20、21. 卫矛科 *Celastraceae* (样号 E15、E19), 22、41. 伞形科 *Umbelliferae* (样号 E18、E22), 23. 柳属 *Salix* (样号 E40), 24、25. 十字花科 *Cruciferae* (样号 E20、E25), 26、30. 水丝梨属 *Sycopsis* (样号 E08、E15), 27. 八角属 *Illicium* (样号 E24), 28、29. 山茱萸属 *Cornus* (样号 E01、E15), 31. 蓼科 *Polygonaceae* (样号 E08), 32. 蓼属 *Polygonum* (样号 E10), 33. 芸香科 *Rutaceae* (样号 E07), 34. 盐肤木属 *Rhus* (样号 E10), 35—38. 杜英科 *Elaeocarpaceae* (样号 E10), 39. 藜科 *Chenopodiaceae* (样号 E19), 40. 唇形科 *Labiatae* (样号 E15), 42. 杜鹃花科 *Ericaceae* (样号 E37), 43. 凤仙花属 *Impatiens* (样号 E22)

此次所有样品中均未检测到,这也是为什么利用孢粉学构建古气候缺少热带亚热带代表类群樟科的原因。但有学者在晚白垩纪至始新世新泽西州、北卡罗来纳州以及北美等地层中发现 *Perseanthus* 属、*Neusenia* 属和 *Androglandula* 属等原位花粉化石^[76-78],早期樟科花粉基本无萌发孔,花粉大小差异较大,*Androglandula* 属花粉直径约 16 μm 左右,*Perseanthus* 属和 *Neusenia* 属则在 28—34 μm 之间,此外,*Perseanthus* 属花粉壁上具小刺。未来改良样品前处理方法和研究花粉保存环境,提高地层中孢粉化石鉴定统计精度,以及结合植物大化石^[79]、分泌细胞^[80]和气孔器^[81]等其他遗留特征,可能有助于地质时期樟科类群的恢复。

珙桐为中国特有珙桐科单型属植物,是第三纪古热带植物区系的孑遗种,晚白垩纪和第三纪时期曾广布世界许多地区,中国亚热带地区也曾有普遍分布,但现今仅在中国西南及长江中上游地区有所残存^[82]。峨眉山是珙桐在四川分布最集中和最典型的地区之一,珙桐作为中亚热带中山山地常绿阔叶混交林的主要优势种和建群种^[83],在植物系统发育和地史变迁研究中有很高的学术地位^[84],江西省地层分析曾发现过珙桐的孢粉材料^[85]。本研究 5 个样品采自珙桐群落,只有 1 个样品中发现 1 粒珙桐属花粉。因此,改良样品实验分析方法以及花粉保存环境的分析,改善样品中珙桐花粉的鉴定精度,提高其花粉统计效率,可为植物发展演化、地质变迁和环境演变研究提供花粉学证据。

峨眉山针叶冷杉纯林由于林分结构不同,群落特征差异较大,天门寺至金顶冷杉植株较小,多数为幼年期和青年期植株,其繁殖能力强,花粉产量大,树冠常常可见紫色球果,样品中冷杉属花粉含量可达 12.3%,孢粉浓度为 26534 粒/g;万佛顶、太子坪至接引殿分布冷杉过熟林,植株高大,林龄较大,老者可超过 500 年以上,处于衰老期,生命力较弱,近期由于病虫害入侵^[86],大量冷杉衰亡,枯死,导致冷杉花粉产量锐减,其百分含量只有 2.9%,花粉浓度约 1978 粒/g。因此,某种植物在相同植被盖度条件下,较大差异的花粉产量在一定程度上往往可以指示其不同的林分结构特征。所以,峨眉山针叶冷杉纯林中冷杉属花粉含量较低,除了受其花粉低代表性影响,还与峨眉山主要为冷杉过熟林,花粉产量相对较低有关,致使花粉组合难以反映冷杉的建群种特征。

因此,在植物种类非常丰富的热带亚热带地区,尤其是其代表性类群花粉代表性低的山地,在利用孢粉学资料进行植被生态保护与恢复和地质历史时期气候与环境反演与重建时,应该谨慎分析地层孢粉数据,尽量与其他生物环境指标(植物大化石、分泌细胞和气孔器等)进行综合分析,力求获得相互支持,相互印证的准确结论。

5 结论

通过峨眉山 40 个样点表土孢粉组合及其与植物群落之间关系的分析,结果表明:

(1) 花粉组合中木本植物含量(83.3%)占绝对优势,木本植物花粉与草本植物花粉比值(AP/NAP)约为 5,松属、杉科、桉木属、蔷薇科、桦属、枫杨属、蒿属、毛茛科和水龙骨科为主要孢粉类型;孢粉浓度 174003 粒/g。

(2) 中山常绿阔叶林花粉组合未能反映植物的群落特征;低山常绿阔叶林间人工次生林和常绿落叶阔叶混交林花粉组合只能反映母体植被的部分植物组成;针叶林花粉组合基本可以指示母体植被的群落特征;灌丛草甸花粉组合能够较好地反映母体植被的群落组成特征;针阔混交林花粉组合不仅可以很好地指示群落特征,花粉高含量类型还可以与植物群落的优势种很好的对应。

(3) 主要花粉类型冷杉属、杜鹃花科、蔷薇科、珙桐属、槭属和盐肤木属具低代表性;枫杨属、栲属/柯属、桉木属和杉科花粉具超代表性。

(4) DCA 表明,通过样品花粉百分含量,能较好地地区分人类扰动植被、阔叶林和针叶林,但常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林和针阔混交林之间,针叶林和灌丛草甸之间难以区分。

(5) 热带亚热带常绿阔叶林代表类群樟科和常绿落叶阔叶林珙桐群落受其主体植物花粉外壁薄,易破碎的影响,利用孢粉学恢复原生植被时缺失优势种;因此探索孢粉实验处理改良、孢粉保存环境研究,与其他生物学指标(植物大化石和气孔器)相结合重建古植物群落具有重要意义。

(6) 不同林型的冷杉纯林,幼苗期因繁殖力强,花粉产量高;过熟林由于衰老、病虫害影响,繁殖率下降,花粉产量低,这表明植物花粉含量一定程度上可以反映其林分结构。

本研究可为热带亚热带山地及相似地区利用孢粉学进行地质时期气候与环境重建提供理论支持和基础资料,并对植被生态恢复提供实例和参考。

参考文献 (References):

- [1] Masi A, Francke A, Pepe C, Thienemann M, Wagner B, Sadori L. Vegetation history and paleoclimate at Lake Dojran (FYROM/Greece) during the Late Glacial and Holocene. *Climate of the Past*, 2018, 14(3): 351-367.
- [2] Aragón-Moreno A A, Islebea G A, Royb P D, Torrescano-Vallea N, Mueller A D. Climate forcings on vegetation of the southeastern Yucatán Peninsula (Mexico) during the middle to late Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2018, 495: 214-226.
- [3] Morellón M, Aranbarri J, Moreno A, González-Sampériz P, Valero-Garcés B L. Early Holocene humidity patterns in the Iberian Peninsula reconstructed from lake, pollen and speleothem records. *Quaternary Science Reviews*, 2018, 181: 1-18.
- [4] Badino F, Ravazzi C, Vallè F, Pini R, Aceti A, Brunetti M, Champvillair E, Maggi V, Maspero F, Perego R, Orombelli G. 8800 years of high-altitude vegetation and climate history at the Rutor Glacier forefield, Italian Alps. Evidence of middle Holocene timberline rise and glacier contraction. *Quaternary Science Reviews*, 2018, 185: 41-68.
- [5] Sniderman J M K, Matley K A, Haberle S G, Cantrill D J. Pollen analysis of Australian honey. *PLoS One*, 2018, 13(5): e0197545.
- [6] Dehghani M, Djamali M, Gandouin E, Akhani H. A pollen rain-vegetation study along a 3600 m mountain-desert transect in the Irano-Turanian region; implications for the reliability of some pollen ratios as moisture indicators. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2017, 247: 133-148.
- [7] Recio M, Picornell A, Trigo M M, Gharbi D, García-Sánchez J, Cabezedo B. Intensity and temporality of airborne *Quercus* pollen in the southwest Mediterranean area: correlation with meteorological and phenoclimatic variables, trends and possible adaptation to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, 250-251: 308-318.
- [8] Franco-Gaviria F, Caballero-Rodríguez D, Correa-Metrio A, Pérez L, Schwalb A, Cohuo S, Macario-González L. The human impact imprint on modern pollen spectra of the Maya lands. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 2018, 70(1): 61-78.
- [9] Ritchie J C, Hadden K A, Gajewski K. Modern pollen spectra from lakes in arctic western Canada. *Canadian Journal of Botany*, 1987, 65(8): 1605-1613.
- [10] Zhao Y, Xu Q H, Huang X Z, Guo X L, Tao S C. Differences of modern pollen assemblages from lake sediments and surface soils in arid and semi-arid China and their significance for pollen-based quantitative climate reconstruction. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2009, 156(3/4): 519-524.
- [11] Nosova M B, Severova E E, Volkova O A, Kosenko J V. Representation of *Picea* pollen in modern and surface samples from Central European Russia. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2015, 24(2): 319-330.
- [12] Pandey S, Holt K. Modern pollen distribution and its relationship to vegetation from the South-western part of the Ganges-Brahmaputra Delta, India. *Palynology*, 2018, 40(1): 20-27.
- [13] Zhang Y, Kong Z C, Wang G H, Ni J. Anthropogenic and climatic impacts on surface pollen assemblages along a precipitation gradient in north-eastern China. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19(5): 621-631.
- [14] Li M Y, Li Y C, Xu Q H, Pang R M, Ding W, Zhang S R, He Z G. Surface pollen assemblages of human-disturbed vegetation and their relationship with vegetation and climate in Northeast China. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(5): 535-547.
- [15] Li M Y, Xu Q H, Zhang S R, Li Y C, Ding W, Li J Y. Indicator pollen taxa of human-induced and natural vegetation in Northern China. The Holocene, 2015, 25(4): 686-701.
- [16] Li Y Y, Nielsen A B, Zhao X Q, Shan L J, Wang S Z, Wu J, Zhou L P. Pollen production estimates (PPEs) and fall speeds for major tree taxa and relevant source areas of pollen (RSAP) in Changbai Mountain, northeastern China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2015, 216: 92-100.
- [17] Li J Y, Xu Q H, Gaillard-Lemdahl M J, Seppä H, Li Y C, Hun L, Li M Y. Modern pollen and land-use relationships in the Taihang mountains, Hebei province, northern China—a first step towards quantitative reconstruction of human-induced land cover changes. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2013, 22(6): 463-477.
- [18] Ge Y W, Li Y C. Bunting M J, Li B, Li Z T, Wang J T. Relation between modern pollen rain, vegetation and climate in northern China: implications for quantitative vegetation reconstruction in a steppe environment. *Science of the Total Environment*, 2017, 586: 25-41.
- [19] Li Y C, Ge Y W, Bunting M J, Zhang Z, Li J, Wang C Y, Li B, Li C Z. Relative pollen productivities and relevant source area of pollen in the forest-steppe ecotone of northern China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2017, 244: 1-12.
- [20] Zhao K L, Li X Q. Modern pollen and vegetation relationships in the Yili Basin, Xinjiang, NW China. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(33): 4133-4142.
- [21] Qin F, Zhao Y, Li Q, Cai M T. Modern pollen assemblages from surface lake sediments in northwestern China and their importance as indicators of vegetation and climate. *Science China Earth Sciences*, 2015, 58(9): 1643-1655.

- [22] Li F R, Zhao Y, Gaillard M J, Li H, Sun J H, Xu Q H. Modern pollen-climate relationships in north Xinjiang, northwestern China: Implications for pollen-based reconstruction of Holocene climate. *The Holocene*, 2017, 27(7): 951-966.
- [23] Wei H C, Zhao Y. Surface pollen and its relationships with modern vegetation and climate in the Tianshan Mountains, northwestern China. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2016, 25(1): 19-27.
- [24] Huang X Z, Chen X M, Du X. Modern pollen assemblages from human-influenced vegetation in northwestern China and their relationship with vegetation and climate. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2018, 27(6): 767-780.
- [25] Li F R, Zhao Y, Sun J H, Zhao W W, Guo X L, Zhang K. Surface pollen and its relationship to vegetation in the Zoige Basin, eastern Tibetan Plateau. *Frontiers of Earth Science*, 2011, 5(3): 252-261.
- [26] Wei H C, Ma H Z, Zheng Z, Pan A D, Huang K Y. Modern pollen assemblages of surface samples and their relationships to vegetation and climate in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2011, 163(3/4): 237-246.
- [27] Ma Q F, Zhu L P, Lu X M, Wang Y, Guo Y, Wang J B, Ju J T, Peng P, Tang L Y. Modern pollen assemblages from surface lake sediments and their environmental implications on the southwestern Tibetan Plateau. *Boreas*, 2017, 46(2): 242-253.
- [28] Zhang Y, Kong Z C, Yang Z J, Wang L, Duan X H. Surface pollen distribution from alpine vegetation in eastern Tibet, China. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 586.
- [29] Zhang Y J, Duo L, Pang Y Z, Felde V A, Birks H H, Birks H J B. Modern pollen assemblages and their relationships to vegetation and climate in the Lhasa Valley, Tibetan Plateau, China. *Quaternary International*, 2018, 467: 210-221.
- [30] 萧家仪, 吕燕, 祁国翔. 中国东部淤泥质海岸盐沼植被藜科花粉数量研究. *地理研究*, 2014, 33(11): 2157-2168.
- [31] Zhang W C, Li C H, Lu H Y, Tian X H, Zhang H Y, Lei F, Tang L Y. Relationship between surface pollen assemblages and vegetation in Luonan Basin, eastern Qinling Mountains, Central China. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(3): 427-445.
- [32] Fang Y M, Ma C M, Mao L M, Zhu C, Zhang W Q. Surface pollen spectra from Shennongjia Mountains, central China: an interpretation aid to Quaternary pollen deposits. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2015, 214: 40-50.
- [33] Yang S X, Zheng Z, Huang K Y, Zong Y Q, Wang J H, Xu Q H, Rolett B V, Li J. Modern pollen assemblages from cultivated rice fields and rice pollen morphology: Application to a study of ancient land use and agriculture in the Pearl River Delta, China. *The Holocene*, 2012, 22(12): 1393-1404.
- [34] Luo C X, Lin G, Chen M H, Xiang R, Zhang L L, Liu J G, Pan A D, Yang S X, Yang M X. Characteristics of pollen in surface sediments from the southern South China Sea and its paleoclimatic significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2016, 461: 12-28.
- [35] Luo C X, Jiang C C, Yang M X, Chen M H, Xiang R, Zhang L L, Liu J G, Pan A D. Transportation modes of pollen in surface waters in the South China Sea and their environmental significance. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2016, 225: 95-105.
- [36] Jarvis D I, Clay-Poole S T. A comparison of modern pollen rain and vegetation in southwestern Sichuan Province, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1992, 75(3/4): 239-258.
- [37] Xiao X Y, Shen J, Wang S M. Spatial variation of modern pollen from surface lake sediments in Yunnan and southwestern Sichuan Province, China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2011, 165(3/4): 224-234.
- [38] Shen H D, Li C H, Wan H W, Tong G B, Liu J S, Dan Johnson. Relationships between vegetation and stomata, and between vegetation and pollen surface soil in Yunnan, Southwest China. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(15): 1775-1786.
- [39] Xiao X Y, Haberle S G, Shen J, Yang X D, Han Y, Zhang E L, Wang S M. Latest Pleistocene and Holocene vegetation and climate history inferred from an alpine lacustrine record, northwestern Yunnan Province, southwestern China. *Quaternary Science Reviews*, 2014, 86: 35-48.
- [40] Xiao X Y, Haberle S G, Shen J, Xue B, Burrows M, Wang S M. Postglacial fire history and interactions with vegetation and climate in southwestern Yunnan Province of China. *Climate of the Past*, 2017, 13(6): 613-627.
- [41] Song X Y, Yao Y F, Wortley A H, Paudyal K N, Yang S H, Li C S, Blackmore S. Holocene vegetation and climate history at Haligu on the Jade Dragon Snow Mountain, Yunnan, SW China. *Climatic Change*, 2012, 113(3/4): 841-866.
- [42] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980: 1-1375.
- [43] 孙航. 古地中海退却与喜马拉雅-横断山的隆起在中国喜马拉雅成分及高山植物区系的形成与发展上的意义. *云南植物研究*, 2002, 24(3): 273-288.
- [44] 胡文光. 峨眉山植物区系的初步研究. *四川大学学报*, 1964, (3): 149-164.
- [45] 四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社, 1980: 1-465.
- [46] 庄平. 峨眉山特有种子植物的初步研究. *生物多样性*, 1998, 6(3): 213-219.
- [47] 李振宇, 石雷. 峨眉山植物. 北京: 北京科学技术出版社, 2007: 1-492.
- [48] 李旭光. 四川省峨眉山森林植被垂直分布的初步研究. *植物生态学报*, 1984, 8(1): 52-66.
- [49] 谷海燕, 李策宏. 峨眉山常绿阔叶阔叶混交林的生物多样性及植物区系初探. *植物研究*, 2006, 26(5): 618-623.
- [50] 四川省林业勘察设计研究院. 峨眉山市森林资源二类调查报告. 2009.
- [51] 黎昌谷. 峨眉山东坡垂直自然带. *山地研究*, 1990, 8(1): 39-44.
- [52] 四川省地方志编纂委员会. 峨眉山志. 成都: 四川科学技术出版社, 1996: 1-670.
- [53] Faegri K, Iversen J. *Textbook of Pollen Analysis*. 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1989: 1-328.
- [54] 中国科学院植物研究所古植物室孢粉组, 中国科学院华南植物研究所形态研究室. 中国热带亚热带被子植物花粉形态. 北京: 科学出版

- 社, 1982: 1-672.
- [55] 王伏雄, 钱南芬, 张玉龙, 杨惠秋. 中国植物花粉形态(第二版). 北京: 科学出版社, 1995: 1-461.
- [56] 唐领余, 毛礼米, 舒军武, 李春海, 沈才明, 周忠泽. 中国第四纪孢粉图鉴. 北京: 科学出版社, 2017: 1-620.
- [57] Grimm E C. TILIA and TILIA GRAPH: PC Spreadsheet and Graphics Software for Pollen Data. Newsletter: INQUA Commission for the Study of the Holocene, Working Group on Data-Handling Methods, 1990, 4: 5-7.
- [58] Ter Braak C J F, Šmilauer P. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Ithaca, New York: Microcomputer Power, 2002: 1-500.
- [59] 汤庚国, 向其柏. 樟科植物花粉形态研究. 植物分类学报, 1995, 33(2): 161-170.
- [60] 赵先贵, 肖玲, 陈存根, 毛富春. 秦岭表土的花粉分析. 西北林学院学报, 1999, 14(1): 1-5.
- [61] 许清海, 王子惠, 徐全洪, 夏玉梅. 长白山岳桦林带泥炭沼泽孢粉分析及其意义. 地理科学, 1994, 14(2): 186-192.
- [62] 李旭, 刘金陵. 四川西昌螺髻山全新世植被与环境变化. 地理学报, 1988, 43(1): 44-51.
- [63] 李文漪. 神农架巴山冷杉林花粉与植物关系及其森林植被之演替. 地理学报, 1991, 46(2): 186-194.
- [64] 刘会平, 谢玲娣. 神农架南坡常见花粉的 *R* 值研究. 华中师范大学学报: 自然科学版, 1998, 32(4): 495-497.
- [65] 刘会平, 唐晓春, 王开发, 潘安定. 神农架北坡表土常见花粉的 *R* 值研究. 地理科学, 2001, 21(4): 378-380.
- [66] 桑艳礼, 马玉贞, 高尚玉, 伍婧, 蒙红卫, 孙爱芝, 满自红. 甘肃兴隆山自然保护区表土花粉组合及数量分析. 古生物学报, 2008, 47(4): 457-467.
- [67] 魏海成, 郑卓, 马海州, 潘安定, 黄康有, 罗传秀, 郑艳伟, 王志英. 青海表土花粉分布规律及其与植被的关系. 干旱区地理, 2009, 32(6): 932-940.
- [68] 伍婧, 马玉贞, 桑艳礼, 蒙红卫, 胡彩莉. 宁夏大罗山表土样品中主要花粉类型的代表性. 古生物学报, 2013, 52(1): 57-67.
- [69] 王琰瑜, 宋长青, 孙湘君. 内蒙古中部表土花粉研究. 植物学报, 1996, 38(11): 902-909.
- [70] 贺军辉. 珙桐科植物花粉形态的研究. 湘潭师范学院学报, 1990, 11(6): 45-50, 104-105.
- [71] 潘韬, 吴绍洪, 戴尔阜, 王昊, 赵东升. 云南亚热带南部表土孢粉组合与植被间的定量关系. 生态学报, 2008, 28(12): 6060-6069.
- [72] 代然然, 韩晓丽, 张德怀. 重庆缙云山自然保护区表土花粉组合特征的初步研究. 西南大学学报: 自然科学版, 2014, 36(5): 159-165.
- [73] 张华, 肖霞云, 羊向东, 隆浩, 张茂恒. 云南泸沽湖及周边山地表层孢粉与植被关系研究. 微体古生物学报, 2016, 33(3): 304-315.
- [74] 吴玉书, 孙湘君. 昆明西山林下表土中花粉与植被间数量关系的初步研究. 植物学报, 1987, 29(2): 204-211.
- [75] 庄平, 高贤明. 华西雨屏带及其对我国生物多样性保育的意义. 生物多样性, 2002, 10(3): 339-344.
- [76] Herendeen P S, Crepet W L, Nixon K C. Fossil flowers and pollen of *Lauraceae* from the upper cretaceous of New Jersey. Plant Systematics and Evolution, 1994, 189(1/2): 29-40.
- [77] Eklund H. Lauraceous flowers from the late Cretaceous of North Carolina, U.S.A. Botanical Journal of the Linnean Society, 2000, 132(4): 397-428.
- [78] Taylor D W. Eocene floral evidence of *Lauraceae*: corroboration of the North American megafossil record. American Journal of Botany, 1988, 75(7): 948-957.
- [79] 刀克群, 解三平, 孙柏年, 吴靖宇, 林志成, 何文龙. 云南腾冲上新统 *Cinnamomum* cf. *camphora* 叶形态和表皮微细构造研究. 古生物学报, 2011, 50(2): 240-250.
- [80] 李景照. 海南岛文昌盆地始新世樟科植物及古环境意义[D]. 广州: 中山大学, 2010: 1-103.
- [81] Dilcher D L. Approaches to the identification of angiosperm leaf remains. The Botanical Review, 1974, 40(1): 1-157.
- [82] Tang C Q, Dong Y F, Herrando-Moraira S, Matsui T, Ohashi H, He L Y, Nakao K, Tanaka N, Tomita M, Li X S, Yan H Z, Peng M C, Hu J, Yang R H, Li W J, Yan K, Hou X L, Zhang Z Y, López-Pujo J. Potential effects of climate change on geographic distribution of the Tertiary relict tree species *Davidia involucrata* in China. Scientific Reports, 2017, 7: 43822.
- [83] Tang C Q, Ohsawa M. Tertiary relict deciduous forests on a humid subtropical mountain, Mt. Emei, Sichuan, China. Folia Geobotanica, 2002, 37(1): 93-106.
- [84] 张征云, 苏智先, 申爱英. 中国特有植物珙桐的生物学特性、濒危原因及保护. 淮阴师范学院学报(自然科学版), 2003, 2(1): 66-69, 86-86.
- [85] 杨业勤, 徐友源. 贵州珙桐生态特性的初步研究. 林业科学, 1986, 22(4): 426-430.
- [86] 陈楚莹, 廖利平. 峨眉山冷杉死亡原因的初步研究. 应用生态学报, 1992, 3(1): 1-8.